



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**ZAŘÍZENÍ PRO MONITOROVÁNÍ TEPLoty A VLHKOSTI S
BEZDRÁTOVÝM PŘENOSEM DAT**

TEMPERATURE AND HUMIDITY MONITORING DEVICES WITH WIRELESS COMMUNICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Horváth

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Michal Horvát

ID: 173656

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro monitorování teploty a vlhkosti s bezdrátovým přenosem dat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte bezdrátově komunikující mikrokontrolérem řízený systém monitorování teploty a vlhkosti.

1. Proveďte literární rešerši a internetový průzkum.
2. Navrhněte koncepci monitorovacího systému. Implementujte GSM komunikaci pro zasílání informací pomocí SMS zpráv.
3. Navrhněte elektroniku monitoru veličin a dále elektroniku vzdálené zobrazovací jednotky, která s monitorem komunikuje bezdrátově v ISM pásmu.
4. Navrhněte komplexní programové vybavení.
5. Výsledný systém zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá návrhom zariadenia na monitorovanie teploty a vlhkosti. V prvej časti práce sú vysvetlené základné pojmy, význam kľúčových veličín a popísané na trhu ponúkané riešenia. Následne sa práca venuje návrhu konceptu zariadenia spolu s návrhom schém zapojenia. Z navrhnutých schém zapojenia je ďalej popísaný návrh plošných spojov. Ďalšia časť sa venuje oživeniu zariadenia a odstráneniu chýb vzniknutých pri návrhu. Posledná časť je zameraná na návrh programového vybavenia a testovanie zariadenia.

Kľúčové slová

Mikrokontrolér, snímač teploty, snímač vlhkosti, Atmel, GSM, včelí úl, LCD displej, ISM, UART, SPI, I2C, Eagle, Arduino

Abstract

The diploma thesis is about designing device which monitors temperature and humidity. In the first part of thesis are explained basic terms, importance of key variables and on market offered products are described. After that the thesis describes device concept design with schematic designs. From designed schematics are described printed circuit board designs. Next part is about device commissioning and correction of errors caused by incorrect design. Last part is about program designing and device testing.

Keywords

Microcontroller, temperature sensor, humidity sensor, Atmel, GSM, beehive, LCD display, ISM, UART, SPI, I2C, Eagle, Arduino

Bibliografická citácia:

HORVÁTH, Michal. *Zařízení pro monitorování teploty a vlhkosti s bezdrátovým přenosem dat*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/126860>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Zdeněk Bradáč.

Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Zařízení pro monitorování teploty a vlhkosti s bezdrátovým přenosem dat som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce. Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa: **31. mája 2020**

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu práce doc. Ing. Zdeňku Bradáčovi, Ph.D za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce

V Brne dňa: **31. mája 2020**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Základné pojmy, existujúce riešenia a význam veličín	2
2.1	Včela medonosná	2
2.2	Na trhu existujúce riešenia	5
2.2.1	Beebot [10]	5
2.2.2	BuzzBox.....	6
2.2.3	SolutionBee HM-5 [13].....	7
2.2.4	Arnia [14].....	8
2.2.5	Eyesonhives Scout Bee [15]	8
2.3	Významné veličiny vo včelom úle	9
2.3.1	Teplota plodu	9
2.3.2	Vlhkosť [17].....	10
2.4	Zvuková analýza	11
2.5	Váha [20].....	12
3	Návrh konceptu zariadenia a obvodové riešenie	14
3.1	Časť zberu dát	14
3.1.1	Snímač teploty a vlhkosti.....	15
3.1.2	Modul pre bezdrôtový prenos dát v ISM pásme.....	17
3.1.3	Napájacia časť.....	19
3.1.4	Pamäť FRAM.....	20
3.1.5	Ovládanie ohrevu	21
3.2	Zobrazovacia časť	22
3.2.1	Napájacia časť.....	22
3.2.2	GSM Modul	23
3.2.3	LCD displej.....	25
3.2.4	Prevodník 3.3V/5V	27
4	Návrh dosiek plošných spojov	29
4.1	Plošný spoj pre snímač.....	29
4.2	Plošný spoj časti pre zber dát	30
4.3	Plošný spoj pre zobrazovaciu časť	30
5	oživenie zariadenia	32
6	Programové vybavenie a testovanie	39
6.1	Popis rozhrania SPI (Serial peripheral interface) [46]	39
6.1.1	Použitie rozhrania SPI pre komunikáciu so snímačom [47]	40
6.2	Popis rozhrania UART [48]	41
6.3	Prípravok na kontrolu toku dát rozhrania UART.....	41
6.4	Popis funkcie programu bezdrôtového ISM modulu	43
6.5	Programové vybavenie časti zberu dát.....	43

6.6	Programové vybavenie zobrazovacej jednotky	45
6.6.1	Komunikácia pomocou SMS správ	45
6.6.2	Popis behu programu	46
6.6.3	Spôsob zobrazenia dát na LCD displeji	47
6.7	Testovanie funkčnosti prijímania a odosielania SMS správ	48
7	Záver	50
	Literatúra	52
	Zoznam príloh	56

Zoznam obrázkov

Obrázok 2:1 Včela medonosná [2]	2
Obrázok 2:2 Včelí úl[5].....	3
Obrázok 2:3 Langstrothov úl a jeho časti [6]	3
Obrázok 2:4 Kliešтик včelí z brušnej strany [7]	4
Obrázok 2:5 Ukážka fotografie včelieho úľa pred a po kolapse včelstva [9].....	5
Obrázok 2:6 Ukážka výrobku Beebot [10]	6
Obrázok 2:7 Ukážka výrobku BuzzBox [11]	6
Obrázok 2:8 Ukážka výrobku BuzzBox Mini spolu s ochranným obalom [12]	7
Obrázok 2:9 Ukážka výrobku SolutionBee HM-5 [13]	7
Obrázok 2:10 Ukážka výrobku od spoločnosti Arnia [14]	8
Obrázok 2:11 Ukážka výrobku Eyesonhives Scout Bee [15].....	9
Obrázok 2:12 Ukážka priebehu teploty plodu v čase [17].....	10
Obrázok 2:13 Ukážka priebehu relatívnej vlhkosti v čase [17].....	10
Obrázok 2:14 Ukážka priebehu relatívnej vlhkosti v čase [17].....	11
Obrázok 2:15 Ukážka priebehu relatívnej vlhkosti a váhy v čase [17]	11
Obrázok 2:16 Ukážka zvukového spektra a) zdravej včelej kolónie a b) nezdravej [19]	12
Obrázok 2:17 Ukážka priebehu váhy úľa počas dňa [20].....	13
Obrázok 3:1 Bloková schéma časti zberu dát	14
Obrázok 3:2 Ukážka snímača teploty a vlhkosti DHT22 od spoločnosti Aosong Electronic [21]	15
Obrázok 3:3 Ukážka snímača tlaku, teploty a vlhkosti BME280 od spoločnosti Bosch [23].....	16
Obrázok 3:4 Ukážka rady snímačov teploty a vlhkosti od spoločnosti Honeywell [24]	16
Obrázok 3:5 Schéma zapojenia snímača	17
Obrázok 3:6 Ukážka modulu LoRa RFM95W [25]	18
Obrázok 3:7 Ukážka modulu RFM22B [26]	18
Obrázok 3:8 Schéma pripojenia modulu RFM22B k mikrokontroléru	19
Obrázok 3:9 Schéma zapojenia napájacej časti	20
Obrázok 3:10 Schéma zapojenia pamäte FRAM.....	21
Obrázok 3:11 Schéma zapojenia ovládania ohrevu pre 1 úl	21
Obrázok 3:12 Bloková schéma zobrazovacej časti.....	22
Obrázok 3:13 Schéma napájacej časti zobrazovacej jednotky	23
Obrázok 3:14 Ukážka GSM modulu M95 od spoločnosti Quectel [34].....	24
Obrázok 3:15 Ukážka zvoleného GSM modulu so SIM800L [35]	24
Obrázok 3:16 Schéma zapojenia GSM modulu.....	25
Obrázok 3:17 Ukážka poslania SMS správy pomocou AT príkazov[39]	25

Obrázok 3:18 Ukážka vyhotovenia displeja EA DOGM204B-A od spoločnosti Electronic assembly [41]	26
Obrázok 3:19 Ukážka vyhotovenia použitého LCD displeja WH2004-YGH-CT [42]..	26
Obrázok 3:20 Schéma zapojenia LCD displeja	27
Obrázok 3:21 Vnútná schéma integrovaného obvodu 74HCT125D [43]	28
Obrázok 3:22 Ukážka obojsmerného prevodníka 3.3V/5V [44]	28
Obrázok 3:23 Schéma jedného kanálu obojsmerného prevodníka 3.3V/5V [45]	28
Obrázok 4:1 Plošný spoj pre snímač.....	29
Obrázok 4:2 Plošný spoj pre časť zberu dát	30
Obrázok 4:3 Plošný spoj pre zobrazovaciu časť	31
Obrázok 5:1 Ukážka osadeného plošného spoja časti zberu dát	33
Obrázok 5:2 Schematická chyba v prípade spínania podsvietenia displeja.....	33
Obrázok 5:3 Schematická chyba ukázaná na plošnom spoji v prípade spínania podsvietenia displeja.....	34
Obrázok 5:4 Oprava chyby použitia nesprávneho typu tranzistora	34
Obrázok 5:5 Opravená schéma chyby použitia nesprávneho typu tranzistora	35
Obrázok 5:6 Pôvodná chybná schéma napäťového deliča pri komunikácii mikrokontroléra s GSM modulom	35
Obrázok 5:7 Plošný spoj schematickej chyby deliča – vyznačený chybný rezistor R1037	
Obrázok 5:8 Oprava chyby napäťového deliča	37
Obrázok 5:9 Opravená schéma zapojenia chyby napäťového deliča	38
Obrázok 6:1 Topológia rozhrania SPI pre viacero zariadení typu Slave [46]	39
Obrázok 6:2 Časový diagram rozhrania SPI [46]	40
Obrázok 6:3 Časový diagram rozhrania SPI snímača teploty a vlhkosti spolu s významom jednotlivých bitov [47].....	41
Obrázok 6:4 Ukážka rámcu rozhrania UART [48].....	41
Obrázok 6:5 Bloková schéma zapojenia prípravku Arduino k zariadeniu zobrazovacej jednotky	42
Obrázok 6:6 Realizácia zapojenia prípravku Arduino k zariadeniu zobrazovacej jednotky pre monitorovanie rozhrania UART	42
Obrázok 6:7 Ukážka výstupu z terminálu.....	43
Obrázok 6:8 Vývojový diagram časti zberu dát	44
Obrázok 6:9 Ukážka vytvorených formátov SMS správ spolu s odpoveďami	45
Obrázok 6:10 Vývojový diagram zobrazovacej jednotky	47
Obrázok 6:11 Ukážka zobrazenia nameraných hodnôt na LCD displeji.....	48
Obrázok 6:12 Ukážka výstupu terminálu v prípade prijatia SMS správy v tvare „INFO“	49

1 ÚVOD

V dnešnej dobe automatizácia preniká do veľkého množstva oblastí s cieľom ušetriť úsilie a čas, jednou z oblastí je aj monitorovanie včelích úľov. Väčšina včelích úľov sa v dnešnej dobe umiestňuje schválne na miesta, ktoré sú málo rušné. Aby včelár vykonal kontrolu úľu, musí sa na dané miesto dostať. Monitorovanie včelieho úľa umožňuje šetriť včelárom čas z hľadiska kontroly úľa, zariadenie ich na potrebný zásah upozorní. Monitorovanie taktiež šetrí náklady za pravidelné dochádzanie, nie každá pravidelná kontrola by musela byť nevyhnutná. Monitorovaním je možné získať údaje o zdraví a stave kolónie.

Diplomová práca sa zaoberá zariadením pre monitorovanie teploty a vlhkosti včelích úľov s bezdrôtovým prenosom dát. Zariadenie má slúžiť pre monitorovanie teploty a vlhkosti 4 až 8 včelích úľov. Zariadenie bude obsahovať celkovo 2 jednotky a to jednotku pre priamy zber dát, kde sa budú zbierať dáta z jednotlivých snímačov a bezdrôtovým prenosom v ISM pásme sa budú posilať do druhej jednotky, kde budú aktuálne hodnoty zobrazované. V druhej jednotke sa taktiež bude vyhodnocovať potreba zásahu včelára, ktorej výzva sa bude posilať SMS správou pomocou GSM komunikácie.

Na začiatku sa práca venuje vysvetleniu základných pojmov a na trhu dostupným komerčným riešeniam, čím je ukázané, aké ponúkajú možnosti a v akej cenovej hladine sa pohybujú. Práca pokračuje vysvetlením významných veličín vo včelom úle spolu s ukážkou v minulosti nameraných priebehov.

Ďalej práca prechádza ku praktickej časti a to samotnému návrhu počínajúc návrhom samotného konceptu, kde sú popísané jednotlivé bloky oboch častí zariadenia spolu so zvolenými komponentami, ktorých voľba je v práci diskutovaná. K jednotlivým zvoleným komponentom je uvedená vytvorená schéma zapojenia.

Nasledujúcou časťou práce je z vytvorených schém návrh plošných spojov a oživenie zariadenia, kde je poukázané na niektoré chyby pri návrhu a ich opravenie. Poslednou časťou je vytváranie a popis programového vybavenia, testovanie, a s tým súvisiaca demonštrácia funkcie a celkové zhodnotenie zariadenia.

2 ZÁKLADNÉ POJMY, EXISTUJÚCE RIEŠENIA A VÝZNAM VELIČÍN

2.1 Včela medonosná

Prvý výskyt včiel (vedecký názov *Apis mellifera*) sa odhaduje na dobu pred 30 miliónmi rokov. Včely majú nielen ekonomický, ale aj mimoriadny ekologický význam, opelením kvetov výrazne prispievajú k násade plodov a k rozmanitosti rastlín a aj voľne rastúcich rastlín. Včely žijú v kolóniách, ktoré majú v lete okolo 50 000 jedincov, v zime je ich počet okolo 20 000. Včely zbierajú z rastlín nektár a peľ, ktorý im slúži ako strava bohatá na bielkoviny, človeku slúžia včely predovšetkým opelením úžitkových rastlín. [1]



Obrázok 2:1 Včela medonosná [2]

Človek včely chová vo včelích úľoch (obrázok 2.2), ktoré pre včely zhotovuje a získava z nich med, vosk, peľ, propolis a materinu kašičku.

Práve včelie produkty sa využívajú kvôli ich liečivým účinkom. Napríklad med účinkuje ako antibiotikum, ochraňuje kožu, či sa používa napríklad aj v oftalmológii, včelí vosk sa používa v kozmetike a farmaceutickom priemysle a propolis má antimikrobiálne a antioxidačné účinky. [3]

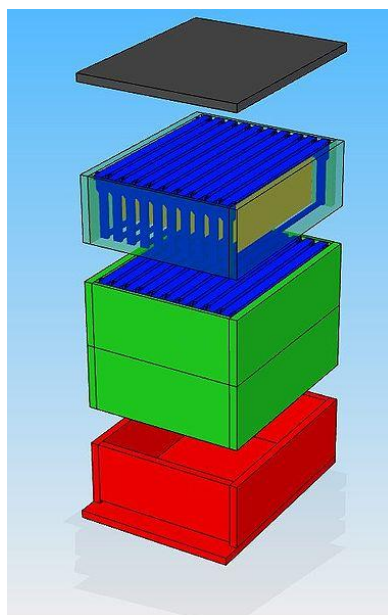
V zime včely vytvárajú husté strapce, kde vytvárajú teplo vibráciami hrudných svalov a spoločne sa zahrievajú, pričom vyvinutú energiu berú z medových zásob. Včely sa navzájom dorozumievajú rôznymi mechanickými a chemickými signálmi. Prirodzený spôsob rozmnožovania včiel je rojenie, pri ktorom stará matka spoločne s väčšinou pôvodného včelstva opúšťa úľ. [1]

Kedysi žili včely v dutých kmeňoch stromov, z ktorých tvarov sa človek pri výrobe včelieho úľa inšpiroval. Prvé úle boli z dutých špalkov, neskôr prešli včelári na použitie ílu, prútov, slamy a dosiek. V súčasnej dobe sa nahrádzajú často plastom a hliníkom. [4]



Obrázok 2:2 Včelí úl[5]

Na obrázku 2.3 je zobrazený Langstrothov úl a jeho časti, z ktorých je zložený. Jedná sa o svetovo najrozšírenejší typ úľa. Postupne zhora sa nachádza veko, kde je požadovaná dostatočná tepelná izolácia. Nasleduje nízky nástavok, kde je možné zahliadnuť rámiky s voskovými medzistenami. Nástavok je umiestnením v hornej časti predurčený pre ukladanie medu. Ďalšie dva nízke nastávky sa vyhotovením nijak nelíšia od toho horného, ale pozíciou v spodnej časti úľa sú označené ako plodisko, pretože sú určené pre plodové hniezdo. Poslednou časťou je úlové dno, ktoré uľahčuje včelám východ a príchod do úľa, slúži teda ako hlavný vchod do úľa. Langstrothov úl je obľúbený práve kvôli možnostiam pridávania, či uberania nástavkov, čím je možné jednoducho prispôbovať rozmery úľa podľa potrieb včiel alebo podľa vlastných chovateľských záujmov. [6]



Obrázok 2:3 Langstrothov úl a jeho časti [6]

Každé včelstvo má iba jednu matku, ktorá do každej bunky nakladie jedno vajíčko, za leto ich však nakladie až 200 tisíc. Z vajíčok sa vyľahnu larvy. Včela robotnica počas svojho života vykonáva rôzne druhy práce, najprv ako čistička, staviteľka, krmička a strážkyňa, po čase opúšťa hniezdo z dôvodu zberu potravy, vtedy sa nazýva lietavka. Starat' sa o plod je prácou mladušiek. Počas celého života krmia včely svoju matku materinou kašičkou. [1]

Medzi najväčších nepriateľov včiel patria parazity, aby teda človek zabezpečil včelí úľ ako obydlie pre včely, musí likvidovať škodcov, čo často vyžaduje rýchly zásah včelára. Po celom svete je najväčším problémom včelárstva klieštik včelí (*Varroa destructor*). Klieštik včelí najprv parazitoval iba na včele indickej, neskôr začal aj na včele medonosnej. Objavený bol na ostrove Jáva v Indonézii. Má oválne telo, 8 nôh, na ktorých má háčiky, pomocou ktorých je schopný sa prichytiť na telo včely. Chemické látky, ktoré obsahujú včelie larvy priťahujú samičky parazita. Do každej bunky s včelím plodom môže dokonca vniknúť viac samičiek. To má vo výsledku na včely taký vplyv, že sa ľahnu oslabnuté, neschopné vykonávať prácu v úli. Môžu sa ľahnúť so zakrpatenými nohami, majú nedokonale vyvinuté krídla a zadoček. Pre včely predstavuje klieštik problém aj z hľadiska prenosu bakteriálnych, mykotických a vírusových ochorení. [7]



Obrázok 2:4 Klieštik včelí z brušnej strany [7]

V poslednej dobe sa objavuje fenomén zvaný Syndróm kolapsu včelstiev (skratka CCD z anglického Colony collapsed disorder), pri ktorom veľké množstvo včiel robotníc zmizne z úľa, pričom zanechá kráľovnú s množstvom potravy. Fenomén sa objavil v Spojených štátoch a Európe, pričom globálny charakter nadobudol, keď sa objavil aj v Ázii a Afrike. Odhaduje sa, že len od roku 2007 do roku 2013 bolo stratených na svete 10 miliónov včelích kolónii, čo je približne dvojnásobný počet ako býva normálne. Vedecká komunita sa stále nevie zhodnúť, čo tento fenomén môže spôsobovať, odhaduje sa, že by to mohlo byť spôsobené napríklad pesticídmi, či práve parazitmi ako klieštik včelí, podvýživou, zmenou ekosystému alebo zmenou praktík včelárov (napríklad dlhý presun úľov). Syndróm kolapsu včiel sa v úle prejaví tak, že je tam

veľmi málo včiel, no v blízkosti úľa nie sú mŕtve včely, vyzerá to teda, akoby včely jednoducho úľ opustili. [8]

Fotografiu pred a po CCD ilustruje obrázok 2.5.



Obrázok 2:5 Ukážka fotografie včelieho úľa pred a po kolapse včelstva [9]

2.2 Na trhu existujúce riešenia

Problematikou monitorovania včelieho úľa sa zaoberá pomerne veľké množstvo spoločností. Funkcionalita je rôzna v závislosti hlavne od ceny, ktorú je ochotný zákazník zaplatiť. Medzi základné funkcie patrí monitorovanie teploty a vlhkosti, prídavnými funkciami býva zvuková analýza bzučania včiel, či meranie váhy úľa, ochrana proti krádeži a posielanie dát na cloud. Výrobky sú predávané spôsobom, že na každý úľ je potreba jeden kus výrobku. Taktiež štandardne neobsahujú možnosť kúrenia v úľoch.

2.2.1 Beebot [10]

Beebot od spoločnosti pollenity zaznamenáva údaje o teplote, vlhkosti včelieho úľa a vyhotovuje zvukovú analýzu každých 15 minút. Informácie sú posielané na cloud 3 krát denne. Napájanie výrobku je z batérie, pomocou ktorej vydrží bez nabitia fungovať 6 až 8 mesiacov. Cena tohto výrobku je 189 dolárov.



Obrázok 2:6 Ukážka výrobku Beebot [10]

2.2.2 BuzzBox

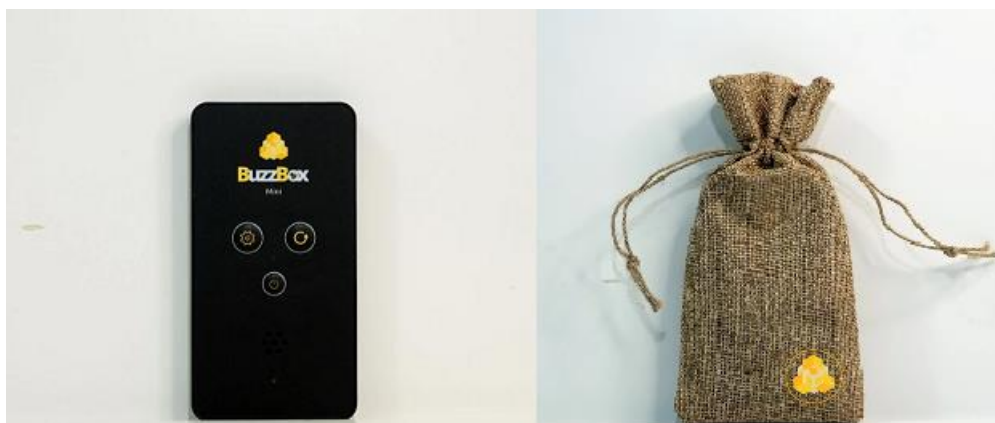
Produkt Buzzbox monitoruje teplotu, vlhkosť, barometrický tlak a miestne počasie. Obsahuje taktiež ochranu proti krádeži, kde v prípade podozrenia pošle hlásenie. Napájanie je riešené pomocou solárneho panelu. Prenos dát prebieha cez WI-FI. Cena výrobku sa pohybuje okolo 200 dolárov. [11]



Obrázok 2:7 Ukážka výrobku BuzzBox [11]

Na produkt BuzzBox nadväzuje ďalší produkt rovnako od spoločnosti OSBeeHives a to Buzzbox mini. Ten okrem možností spomenutých v predošlom type ponúka navyše aj

analýzu zvuku. Buzzbox mini sa dodáva spoločne s ochranným obalom, čo chráni zariadenie pred voskom, či medom. Produkt ponúka jednoduchú montáž, kde sa zariadenie jednoducho zasunie medzi rámy. Zariadenie zaznamenáva zvuk vo frekvenčnom rozsahu od 20 do 3 150 Hz. Zaznamenáva teplotu v rozsahu od 0 do 65 °C, presnosť merania teploty je 0.2 °C. Vlhkosť zaznamenáva v rozsahu od 0 do 100 % s presnosťou 2 %. Vykonávanie meraní závisí od stavu nabitia batérie, a to buď každých 15 minút alebo raz za hodinu. Zariadenie je napájané z 3,75 V batérie, ktorú nabíja solárny panel s výkonom 3,75 W. Cena produktu Buzzbox mini je rovnako 200 dolárov. [12]



Obrázok 2:8 Ukážka výrobku BuzzBox Mini spolu s ochranným obalom [12]

2.2.3 SolutionBee HM-5 [13]

Produkt HM-5 od spoločnosti SolutionBee meria hmotnosť a teplotu úľa každú hodinu. Čítanie dát prebieha pomocou mobilného telefónu s operačným systémom Android alebo iOS pomocou NFC (Near Field Communication) spojenia. Z mobilného telefónu môžu byť následne data nahrané na internet. Cena zariadenia sa pohybuje okolo 300 dolárov.



Obrázok 2:9 Ukážka výrobku SolutionBee HM-5 [13]

2.2.4 Arnia [14]

Spoločnosť Arnia ponúka monitorovací systém pre úl spolu s rôznym príslušenstvom. Zariadenie nielen získava hodnoty nameraných veličín a pomocou aplikácie ich vizualizuje, taktiež posiela potrebné upozornenia. Zariadenie obsahuje snímače teploty a vlhkosti a mikrofón na zvukovú analýzu, a k tomu je možné zakúpiť aj váhu. Monitoruje taktiež okolie pomocou senzoru slnečného žiarenia a zrážkomeru. Obsahuje taktiež počítadlo včiel, kde pomocou dvojitej optickej závery je možné samostatne počítat, koľko včiel do úlu vošlo a koľko z neho odišlo. Všetky periférie sú pripojené do centrálnej jednotky, ktorá dáta zbiera a pomocou mobilnej siete ich posiela do cloudu. Na prístup k údajom teda stačí iba zariadenie s pripojením na internet. Zariadenie je napájané z batérie s tým, že je možné pridať na nabíjanie solárny panel, čím by mala odpadnúť starosť s nabíjaním batérie. V plnej výbave sa môže cena pohybovať okolo 1000 dolárov, v základnej výbave spolu so snímačmi teploty, vlhkosti a mikrofónom sa cena môže pohybovať okolo 650 dolárov.



Obrázok 2:10 Ukážka výrobku od spoločnosti Arnia [14]

2.2.5 Eyesonhives Scout Bee [15]

Produkt od spoločnosti Keltronix využíva iný princíp ako predošlé predstavené produkty. Produkt využíva kameru, pomocou ktorej počíta lietajúce včely, na základe čoho vyhodnocuje aktivitu. Práve podľa merania počtu aktívneho včelstva by sa mohlo dať predvídať možný syndróm kolapsu včelstva. Prenos dát prebieha cez WI-FI a užívateľovi sú výsledky sprístupnené pomocou aplikácie, v prípade, že nie je niečo v poriadku, pošle aplikácia upozornenie. Výhodou je jednoduchá montáž, ktorá nezasahuje do včelieho úľa, zariadenie sa jednoducho umiestni vedľa úľa a namieri sa na vstup do úľa. Ďalšou výhodou je, že užívateľ môže sledovať priamo video z úľa, či napríklad ho zdieľať s inými ľuďmi. Zariadenie je určené hlavne pre americký trh, kde je možné napájať zariadenie zo 120 V, existuje však aj medzinárodný variant, kde je

možné napájať zariadenie pomocou USB zdroja alebo solárneho panelu. Cena sa pohybuje okolo 400 dolárov.



Obrázok 2:11 Ukážka výrobku Eyesonhives Scout Bee [15]

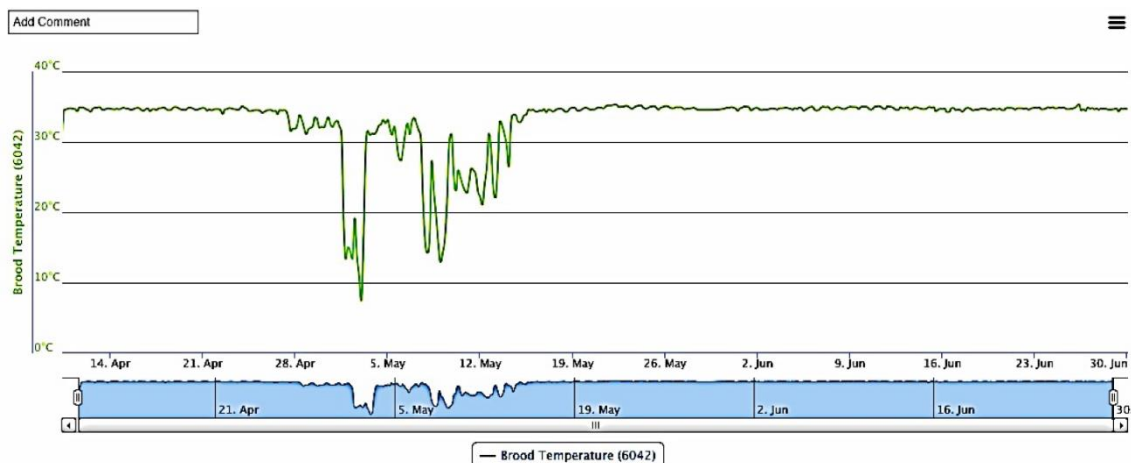
2.3 Významné veličiny vo včelom úle

2.3.1 Teplota plodu

Pre udržanie stability vo včelom úli musia včely ovládať teplotu, oxid uhličitý a vlhkosť. Avšak centrom pozornosti je zvyčajne teplota plodu. Včely udržiavajú teplotu plodiska medzi 32 a optimálne 35 °C preto, aby sa plod vyvíjal normálnym spôsobom. Ak je teplota v plodisku príliš vysoká, ventilujú včely teplý vzduch von z hniezda alebo používajú odparovací chladiaci mechanizmus. V prípade naopak nízkej teploty vytvárajú včely metabolické teplo sťahovaním alebo uvoľňovaním svalov, a to kývaním krídlami. Výsledné vibrovanie generuje teplo v týchto svaloch. [16]

Výskumy ukázali, že dokonca malá odchýlka (vyššia ako 0,5 °C) od optimálnej teploty plodu má výrazný vplyv na vývoj plodu a výsledne zdravie dospelých včiel. Včely vychovávané pri nie úplne ideálnych teplotách sú v dospelosti náchylnejšie na určité pesticídy. [16]

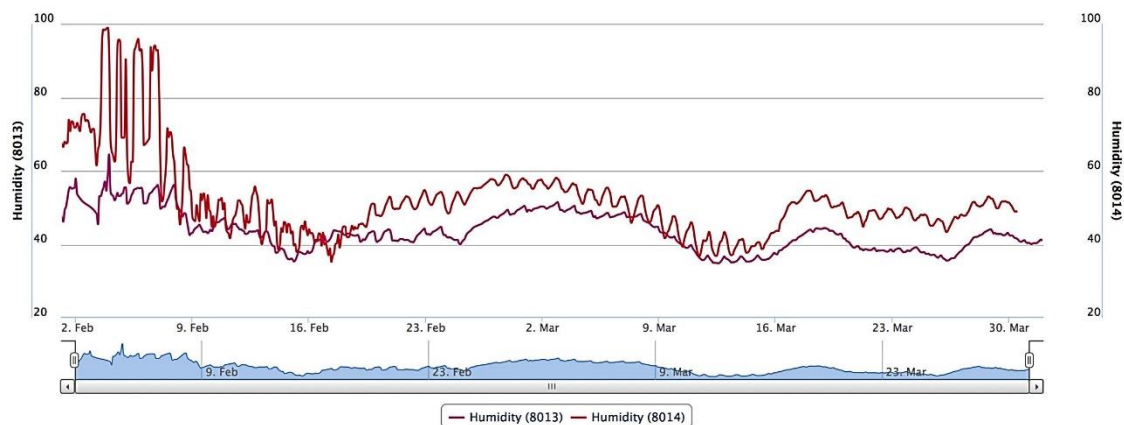
Zmeny teploty je možné použiť ako dôležitý indikátor stavu kolónie. Konkrétne môže signalizovať stav bez plodu, ktorý môže byť spôsobený sezónnymi vplyvmi, kráľovnú, ktorá nekladie, stav bez kráľovnej, či prípravy na rojenie. Ukážka priebehu teploty úľa v čase je zobrazená na obrázku 2.12. [16]



Obrázok 2:12 Ukážka priebehu teploty plodu v čase [17]

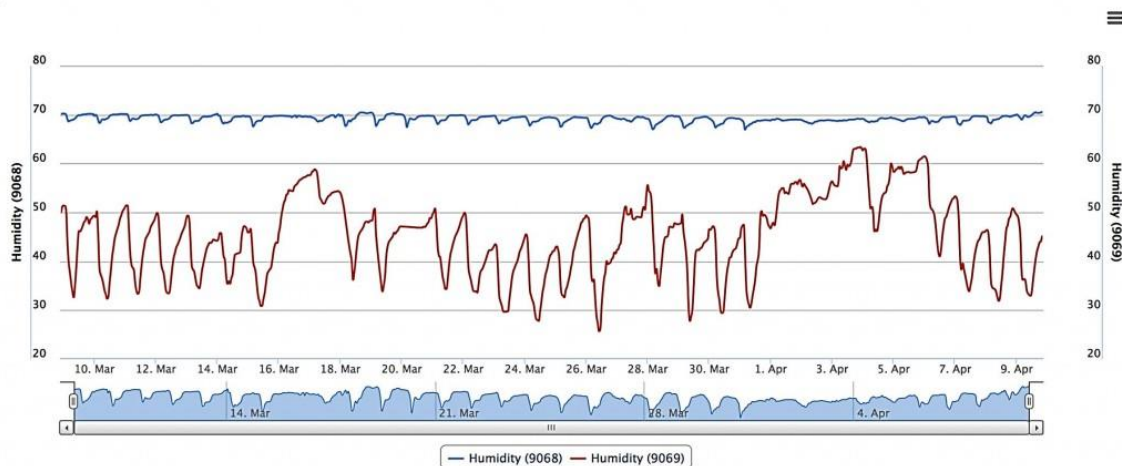
2.3.2 Vlhkosť [17]

Vysoká hodnota relatívnej vlhkosti v úli je užitočným znamením, že je riziko kondenzácie a že je nutné zvýšiť ventiláciu v úli. Obrázok 2.13 demonštruje, že počas prvého týždňa vo februári dosahovala v úli vlhkosť úroveň 90 a až dokonca 100 percent. To značí, že kondenzovanie môže spôsobiť kvapkanie na včely. Včely sú síce schopné vydržať chlad, nie však pokiaľ sú mokré.



Obrázok 2:13 Ukážka priebehu relatívnej vlhkosti v čase [17]

Ďalší graf na obrázku 2.14 zobrazuje priebeh relatívnej vlhkosti v čase pre 2 rôzne úle, kde jeden je plne zdravý (modrá farba) a druhý prázdny (červená farba) z dôvodu zlyhania kolónie skôr v rámci zimy. Graf demonštruje to, že prosperujúca kolónia dokáže znižovať výkyvy relatívnej vlhkosti. Prázdny úl prakticky kopíruje hodnotu okolitej vlhkosti s tým, že hodnota okolitej vlhkosti sa zvykne pohybovať v rozmedzí od 35 do 100 %. Vlhkosť v úli, kde je kolónia včiel sa pohybuje v rozmedzí od 65 do 70 %.



Obrázok 2:14 Ukážka priebehu relatívnej vlhkosti v čase [17]

Začiatkom apríla dochádza k prudkému poklesu relatívnej vlhkosti na úroveň približne 30 %, čo je spojené so zberom nektáru, čo je na obrázku 2.15 viditeľné prudkým nárastom hmotnosti. Prichádzajúci nektár má obsah s vysokou vlhkosťou, ktorá sa musí odpariť.



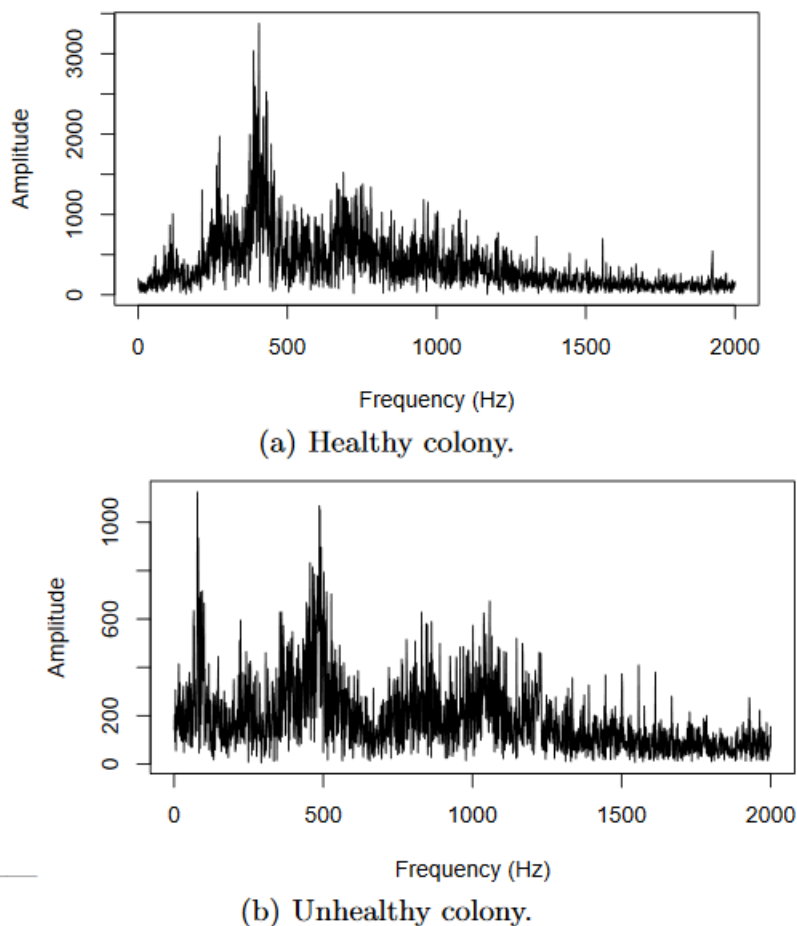
Obrázok 2:15 Ukážka priebehu relatívnej vlhkosti a váhy v čase [17]

Hodnoty výkyvov vlhkosti taktiež určujú silu kolónie, silnejšia kolónia vykazuje menšie výkyvy relatívnej vlhkosti ako slabá.

2.4 Zvuková analýza

Pri pozorovaní včiel bolo zistené, že včely produkujú široké množstvo rôznych zvukov, ktoré slúžia ako forma komunikácie v rámci kolónie. Väčšina zvukov je charakterizovaná základnou frekvenčnou zložkou v intervale od 300 do 600 Hz a jej ďalšími harmonickými. Avšak podstatné je nielen zistenie frekvenčného rozsahu ale aj zistenie akustickej štruktúry. Zvukovou analýzou je možné určiť zdravie, stav, či aktivitu vo včelom úli. [18]

Ukážka zvukového spektra zdravej a nezdravej kolónie je na obrázku 2.16. Na meranie boli získané dáta z 2 kolónií včiel, prvej s kráľovnou s veľkou populáciou a druhá kolónia je bez kráľovnej so zníženou populáciou. Dáta boli zaznamenávané každých 15 minút po dobu 24 hodín. Bolo zistené, že frekvencia zvukov sa počas dňa mení len málo. Na výslednú klasifikáciu zdravia kolónie sa uplatňujú algoritmy strojového učenia. [19]

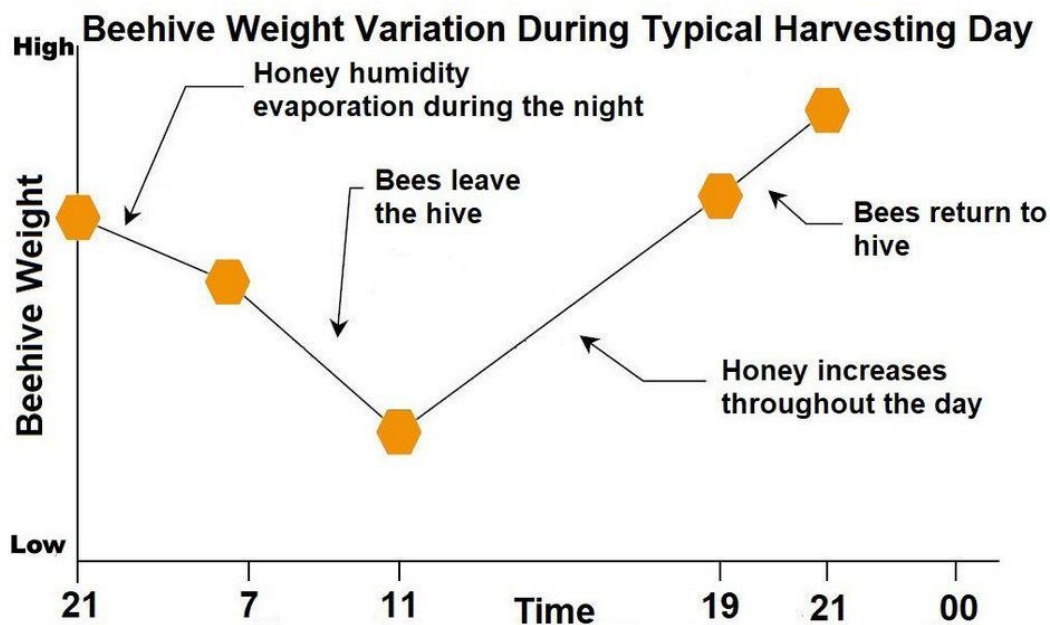


Obrázok 2:16 Ukážka zvukového spektra a) zdravej včelej kolónie a b) nezdravej [19]

2.5 Váha [20]

Včely rovnako ako ľudia zvyknú dodržiavať určité denné zvyky. V skorých ranných hodinách opúšťajú včelí úl a idú hľadať nektár a peľ. Následne sa do úľa vrátia. Podľa určitého vzoru sa tak mení celková váha úľa. Ukážka priebehu zmeny váhy v čase je znázornená na obrázku 2.17. V prípade, že sú včely choré, teda napríklad nakazené parazitom, porušia svoj denný režim. Menej z nich chodí von a menej sa rozmnožujú. Obe udalosti sú spojené so zmenou váhy úľa, čo je možné z priebehu spozorovať a zasiahnuť.

Na začiatku sezóny, kedy je v úľoch málo medu po prekonanej zime môže vážiť úľ asi 25 kg, z čoho váha včiel môže byť zhruba 1 kg. Počas leta, kedy včely zbierajú peľ a vytvárajú med sa môže hodnota dostať až ku 50 kg. V tom čase môžu včely tvoriť až 10 kg. Počas roka včely však nepredstavujú viac ako približne 20 % celkovej hmotnosti úľa. Hodnota váhy úľa teda poskytuje aj informáciu o prírastku, či úbytku množstva nektáru.



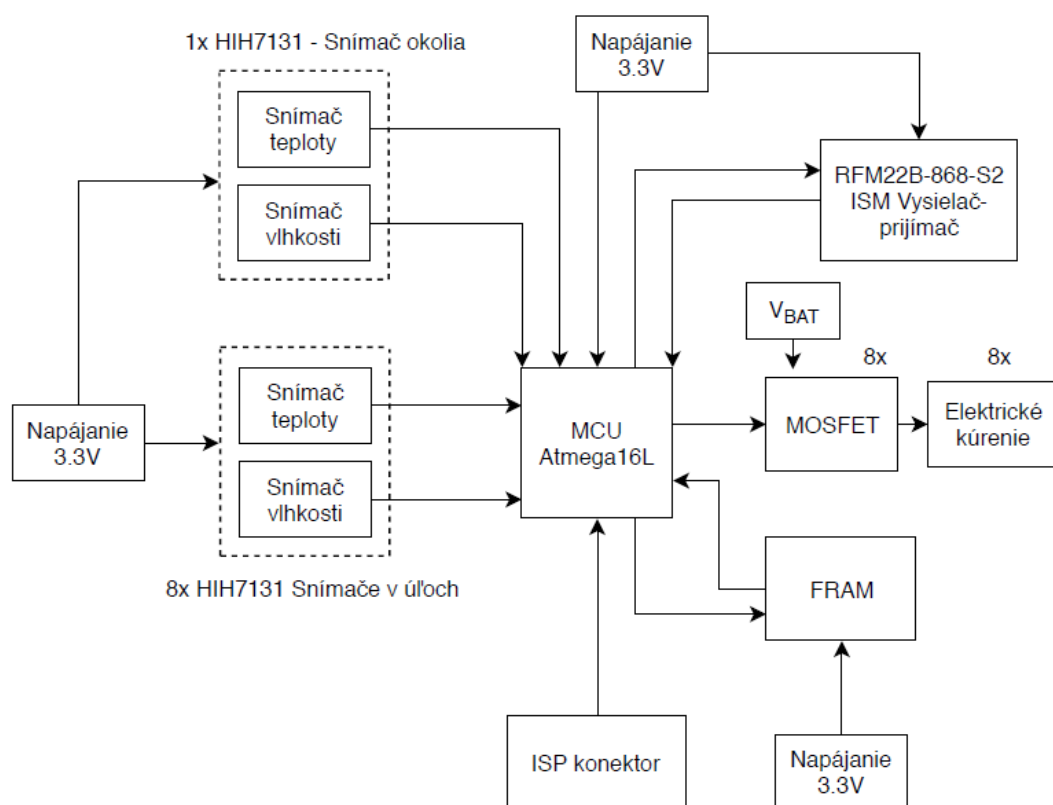
Obrázok 2:17 Ukážka priebehu váhy úľa počas dňa [20]

3 NÁVRH KONCEPTU ZARIADENIA A OBVODOVÉ RIEŠENIE

Požiadavky vyplývajúce zo zadania sú, aby zariadenie obsahovalo mikrokontrolér, snímače teploty a vlhkosti, modul zabezpečujúci bezdrôtovú komunikáciu cez ISM pásmo a modul pre GSM komunikáciu. V koncepte zariadenia sú teda 2 časti, kde jedna má za úlohu dáta zozbierať a preposlať do druhej jednotky, kde sú údaje zobrazované.

3.1 Časť zberu dát

Bloková schéma časti pre zber dát je zobrazená na obrázku 3.1. Ako mikrokontrolér bola zvolená Atmega16L, ktorá postačuje z hľadiska požiadaviek ako počet vstupno-výstupných vývodov, podporou zbernice SPI a I2C a možným napájaním pomocou 3.3 V. Mikrokontrolér taktiež obsahuje vnútornú pamäť EEPROM. Mikrokontrolér je programovaný pomocou ISP rozhrania.



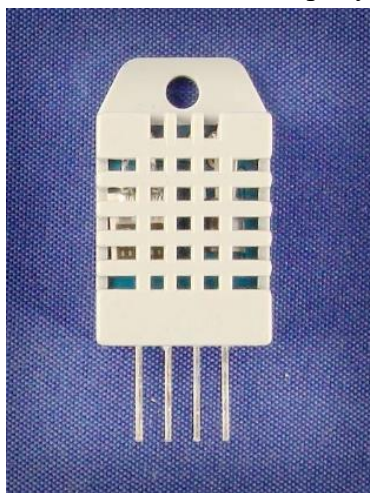
Obrázok 3:1 Bloková schéma časti zberu dát

3.1.1 Snímač teploty a vlhkosti

Pri výbere snímača teploty a vlhkosti bolo nutné brať do úvahy možnosť pripojenia viacerých snímačov, možnosť použitia snímača pre vonkajšie použitie, požadovaný rozsah podľa intervalu teplôt zodpovedajúcemu klimatickému prostrediu, ktorému bude snímač vystavený a požadovanú presnosť, kde chyba v prípade merania teploty by nemala prekročiť 0,5 °C. Optimálne je, aby bola teplota a vlhkosť meraná zároveň jedným snímačom. Snímač by mal mať taktiež digitálny výstup.

Do úvahy pripadal snímač DHT22 od spoločnosti Aosong Electronics, ktorý funguje pomocou jednovodičového pripojenia, spĺňa požadovanú presnosť, ktorá je 0,5 °C a rozsah -40 až 80 °C, ale výrobca neudáva jeho možné použitie vo vonkajších priestoroch. [21]

Práve snímač DHT22 je veľmi často používaným snímačom teploty a vlhkosti v aplikáciách tohto typu pracujúcich na platforme Arduino. Výhodou je aj široký rozsah napájacieho napätia od 3,3 do 6 V. Ukážka vyhotovenia snímača je na obrázku 3.2. Výhodou snímača je aj pomerne nízka cena, ktorá sa pohybuje okolo 190 Kč.



Obrázok 3:2 Ukážka snímača teploty a vlhkosti DHT22 od spoločnosti Aosong Electronic [21]

Ďalším do úvahy pripadajúcim snímačom bol snímač teploty, vlhkosti a tlaku BME280 od spoločnosti Bosch pracujúci cez rozhranie SPI. Presnosť merania vlhkosti sú 3 %, presnosť merania teploty ± 1 °C. Snímač nie je vhodný do prostredia, kde môže dochádzať ku kondenzácii. [22]

Snímač napokon nebol zvolený práve kvôli malej odolnosti voči vonkajšiemu prostrediu, horšej presnosti merania teploty, ale aj kvôli cene, ktorá kvôli prídavnej funkcii merania tlaku, ktorá by nebola v aplikácii využitá je okolo 500 Kč. Ukážka snímača je na obrázku 3.3.



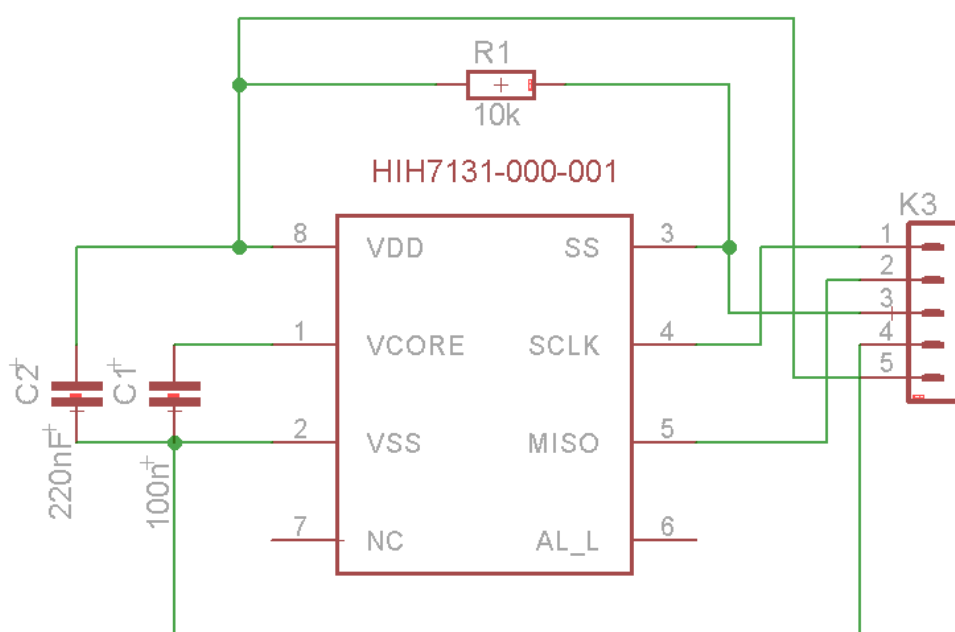
Obrázok 3:3 Ukážka snímača tlaku, teploty a vlhkosti BME280 od spoločnosti Bosch [23]

Veľmi veľká časť snímačov využívajúca zbernicu I2C nemala možnosť adresovania pre 9 snímačov, preto bolo napokon vybrané medzi snímačmi pracujúcimi cez rozhranie SPI alebo jednovodičovo, zvolený bol napokon snímač HIH7131-000-001 od spoločnosti Honeywell pracujúci na rozhraní SPI, ktorý je ako jediný z vybraných snímačov odolný proti kondenzácii, čím je vhodný do vonkajšieho prostredia. Pracuje v rozsahu teplôt od -40 do 100 °C, čo zodpovedá klimatickému prostrediu, ktorému bude zariadenie vystavené. Presnosť merania vlhkosti sú 3 % a presnosť merania teploty je ± 0.5 °C, čo vyhovuje požiadavkám stanoveným pre snímač. Rozlíšenie merania oboch veličín je 14 bitov, čo umožní detekovať malé odchýlky. Cena snímača sa pohybuje okolo 220 Kč. [24]



Obrázok 3:4 Ukážka rady snímačov teploty a vlhkosti od spoločnosti Honeywell [24]

Snímače sú osadené na samostatných doskách plošných spojov a jednotlivé vývody sú vyvedené na konektory časti zberu dát. Schéma zapojenia snímačov vychádza z doporučeného zapojenia z katalógového listu. Schéma je zobrazená na obrázku 3.5. Komunikácia s mikrokontrolérom cez rozhranie SPI je riešená 3–vodičovo pomocou vývodov SCLK, SS a MISO. Vývod AL_L umožňuje monitorovať, či aplikácia nedosiahla určitú kritickú úroveň relatívnej vlhkosti, v prípade zariadenia však nie je použitý. Vývod VCore je z katalógu doporučené pripojiť na zem kondenzátorom s hodnotou 100 nF a vývod NC sa nepripája.[24]

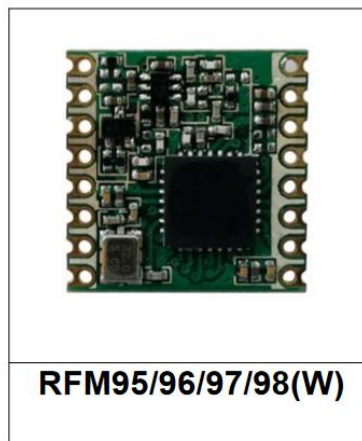


Obrázok 3:5 Schéma zapojenia snímača

3.1.2 Modul pre bezdrôtový prenos dát v ISM pásme

Pre výber modulu pre bezdrôtový prenos dát v ISM pásme bola stanovená maximálna možná potrebná vzdialenosť prenosu na 1 km.

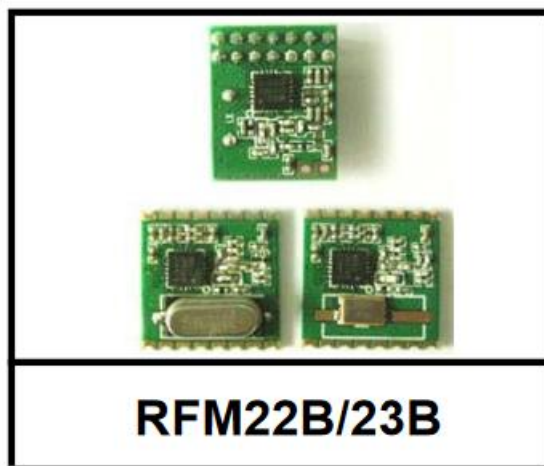
Do úvahy pri výbere modulu pripadal LoRa modul RFM95W s výkonom vysielateľa 20 dBm, ktorého cena je približne 190 KČ a modul pracuje cez rozhranie SPI. Modul navyše obsahuje vstavaný snímač teploty a indikátor slabšej batérie. [25]



Obrázok 3:6 Ukážka modulu LoRa RFM95W [25]

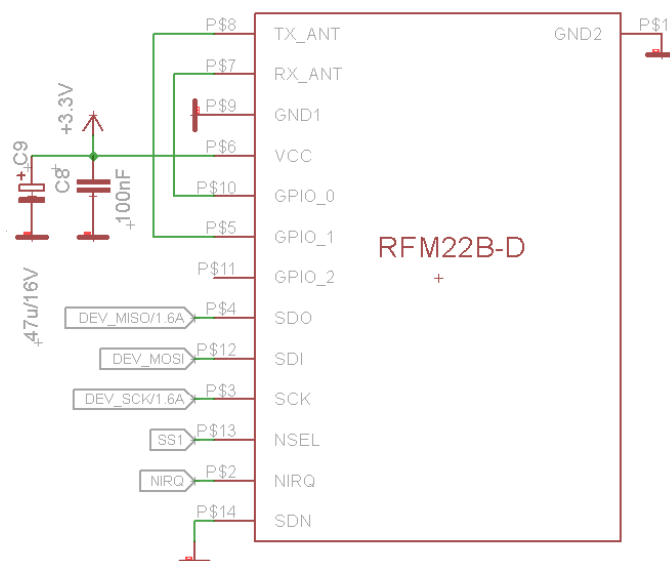
Zvolený modul bol napokon RFM22B, ktorý má rovnako výkon vysielacza 20dBm. Rozsah napájania je od 1,8 do 3,6 V, čo je vhodné, pretože celá časť zberu dát je napájaná z 3.3 V. Modul komunikuje prostredníctvom zbernice SPI. Výhodou je dostupnosť modulu vo vyhotovení s konektorom vo forme kolíkovej lišty, čo uľahčuje montáž na plošný spoj. [26]

Cena modulu je okolo 130 Kč. Modul bol zvolený práve kvôli vhodnému vyhotoveniu po konzultácii s vedúcim práce. Ilustračný obrázok modulu je na obrázku 3.7 a schéma na obrázku 3.8.



Obrázok 3:7 Ukážka modulu RFM22B [26]

JSM Module



Obrázok 3:8 Schéma pripojenia modulu RFM22B k mikrokontroléru

Tabuľka 3-1 Popis vývodov rádiového modulu RFM22B [26]

Vývod	Funkcia
VCC,GND1,GND2	Napájanie
TX_ANT	Tx anténa výberový vstupný vývod
RX_ANT	Rx anténa výberový vstupný vývod
GPIO_0,GPIO_1,GPIO_2	Digitálne I/O pre všeobecné použitie
SDO	Digitálny výstup pre rozhranie SPI
SDI	Digitálny vstup pre rozhranie SPI
SCK	Sériový hodinový vstup
NSEL	Výber zariadenia pre rozhranie SPI
NIRQ	Všeobecný výstup stavu prerušenia
SDN	Vypínací vstupný vývod (Shutdown)

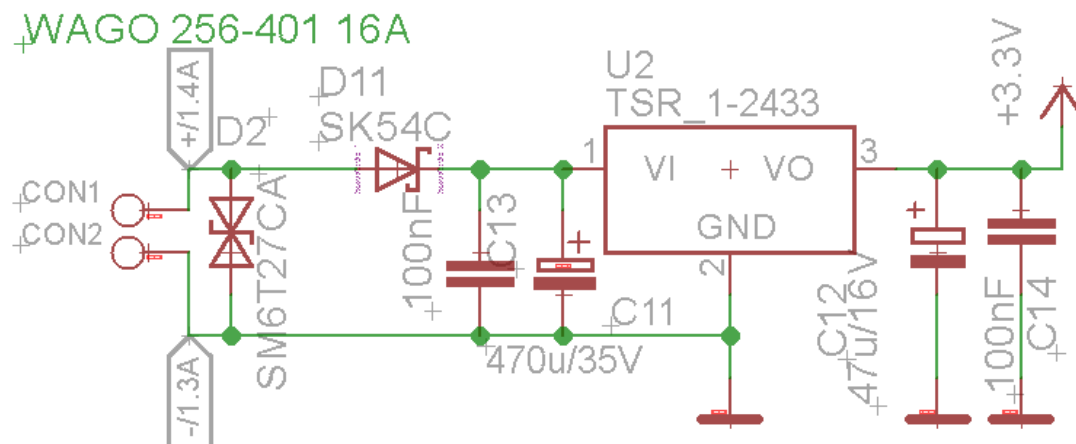
Prepojením vývodov GPIO_0 s RX_ANT a GPIO_1 s TX_ANT je možné prepínanie režimu prijímač/vysielač [26]. Pre rozhranie SPI, a teda prepojenie modulu s mikrokontrolérom je použitá 4 vývodová komunikácia použitím vývodov SDO, SDI, SCK, NSEL. Všeobecný výstup stavu prerušenia (NIRQ) je privedený na digitálny vstup mikrokontroléra.

3.1.3 Napájacia časť

V prípade časti zberu dát je potrebné vytvoriť iba jedno napájacie napätie a to 3.3 V. Ako znižujúci DC/DC menič bol zvolený menič spoločnosti Traco Power, konkrétne

typ TSR1-2433, ktorého účinnosť dosahuje až 91 %. Rozsah vstupného napätia je široký a to od 4.75 V až do 36 V, prúdový odber je možný do 1 A. [27]

Schéma zapojenia je na obrázku 3.9. Do obvodu bola pridaná ochranná dióda proti prepólovaniu a prepäťová ochrana, ktorú zabezpečuje transil. Vstupná svorka je dimenzovaná na prúd 16 A z dôvodu prepojenia vstupného napájania s ohrevom úľov.



Obrázok 3:9 Schéma zapojenia napájacej časti

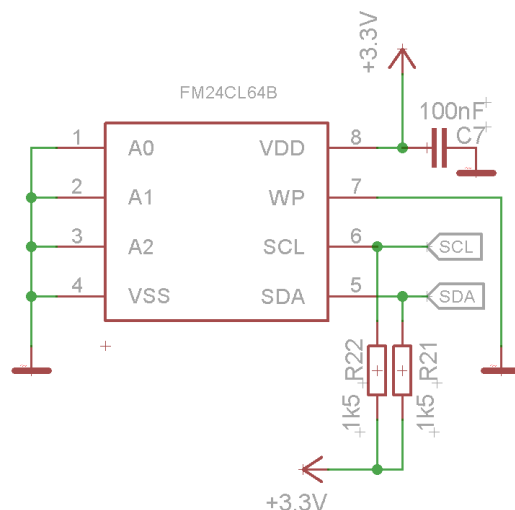
3.1.4 Pamäť FRAM

Pre prípadné ukladanie dát v rámci jednotky bola pridaná feroelektrická pamäť RAM (FRAM).

FRAM je pamäť s priamym prístupom, ktorá si dokáže uchovať data aj po vypnutí napájania. Bunky pamäte FRAM využívajú zvyškovú polarizáciu feroelektrického materiálu. Princíp je založený na vystavení elektrického kryštálu elektrickému poľu, vďaka čomu sa centrálny atóm pohne v smere elektrického poľa, čím zapríčini elektrický prúdový náraz, ktorý je zaznamenaný vnútornými obvodmi a pamäť je následne zapnutá. Vďaka tomu, že v tejto pozícii centrálny atóm ostane aj po odstránení poľa, je pamäťový stav uchovaný. Pamäte FRAM majú veľmi rýchly čas zápisu, ktorý býva menší ako 50ns, pamäte majú nízku spotrebu, vysokú spoľahlivosť pri zápise a uchovávaní dát. [28]

Pre potreby aplikácie bola zvolená FRAM FM24CL64B, ktorá má kapacitu 64 kB. Komunikácia prebieha cez rozhranie I2C. [29]

Pamäť FRAM je k mikrokontroléru pripojená pomocou vývodov SCL a SDA. Schému zapojenie je možné vidieť na obrázku 3.10. Na vývody SCL a SDA sú pripojené pull up rezistory, ktoré zaistujú kľudový stav.



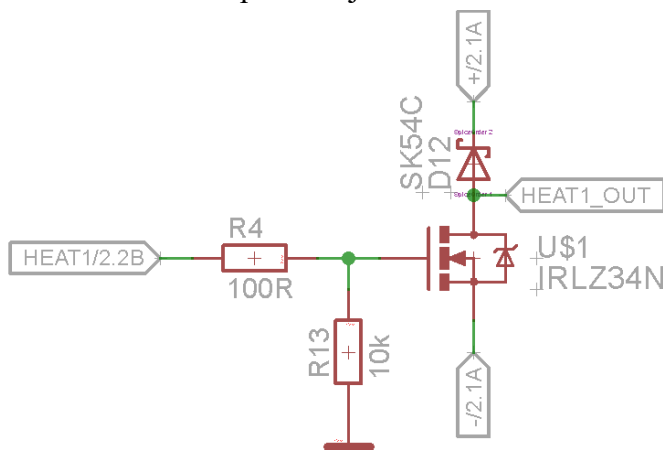
Obrázok 3:10 Schéma zapojenia pamäte FRAM

3.1.5 Ovládanie ohrevu

Pre účely spínania ohrevu bol ako prvok zvolený tranzistor MOSFET, konkrétne typ IRLZ34N, ktorého prúd I_D môže byť až 30 A, pričom prúdový odber ohrevu by sa mal pohybovať v rozmedzí 1 až 2 A. Tranzistor je určený pre spínanie logickými úrovňami a z prechodovej charakteristiky z katalógového listu vyplýva, že je vhodný aj pre spínanie napätím 3.3 V pri požadovanom odbere prúdu. [30]

Napriek tomu, že charakter ohrevu by mal byť prevažne odporový, je pre istotu k ohrevu pridaná aj nulová dióda.

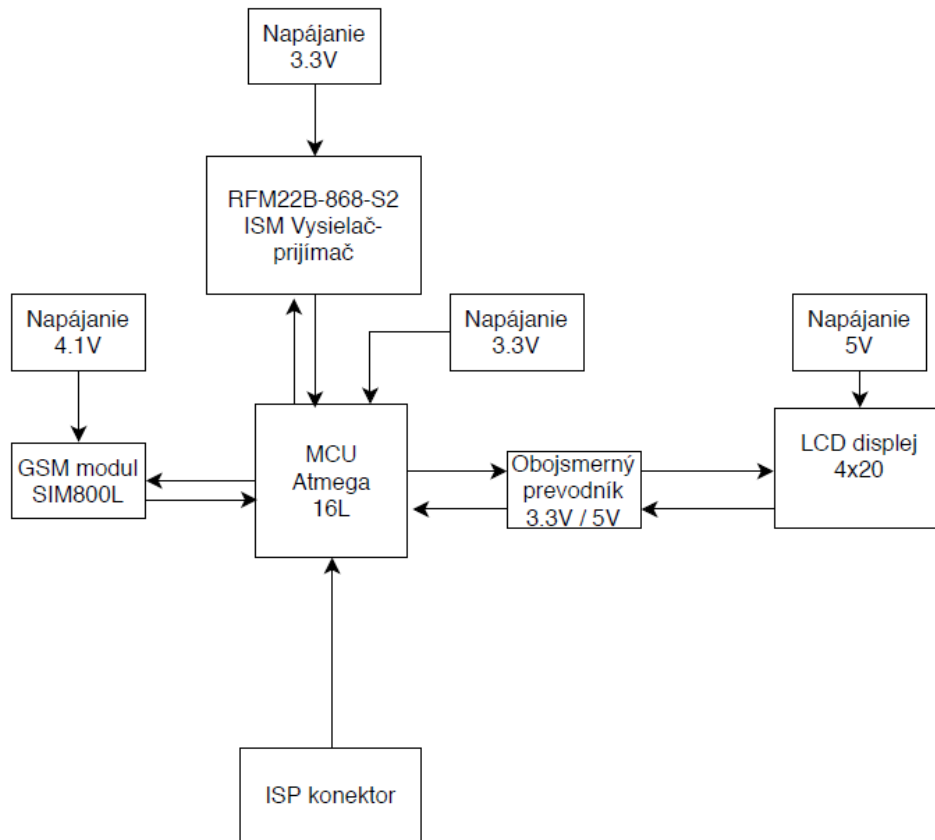
Schéma zapojenia ovládania ohrevu pre 1 úľ je na obrázku 3.11.



Obrázok 3:11 Schéma zapojenia ovládania ohrevu pre 1 úľ

3.2 Zobrazovacia časť

Bloková schéma zobrazovacej časti sa nachádza na obrázku 3.12. V porovnaní s časťou pre zber dát obsahuje zobrazovacia časť rovnaký mikrokontrolér, Atmega16L a rovnaký modul pre prenos dát v ISM pásme.



Obrázok 3:12 Bloková schéma zobrazovacej časti

3.2.1 Napájacia časť

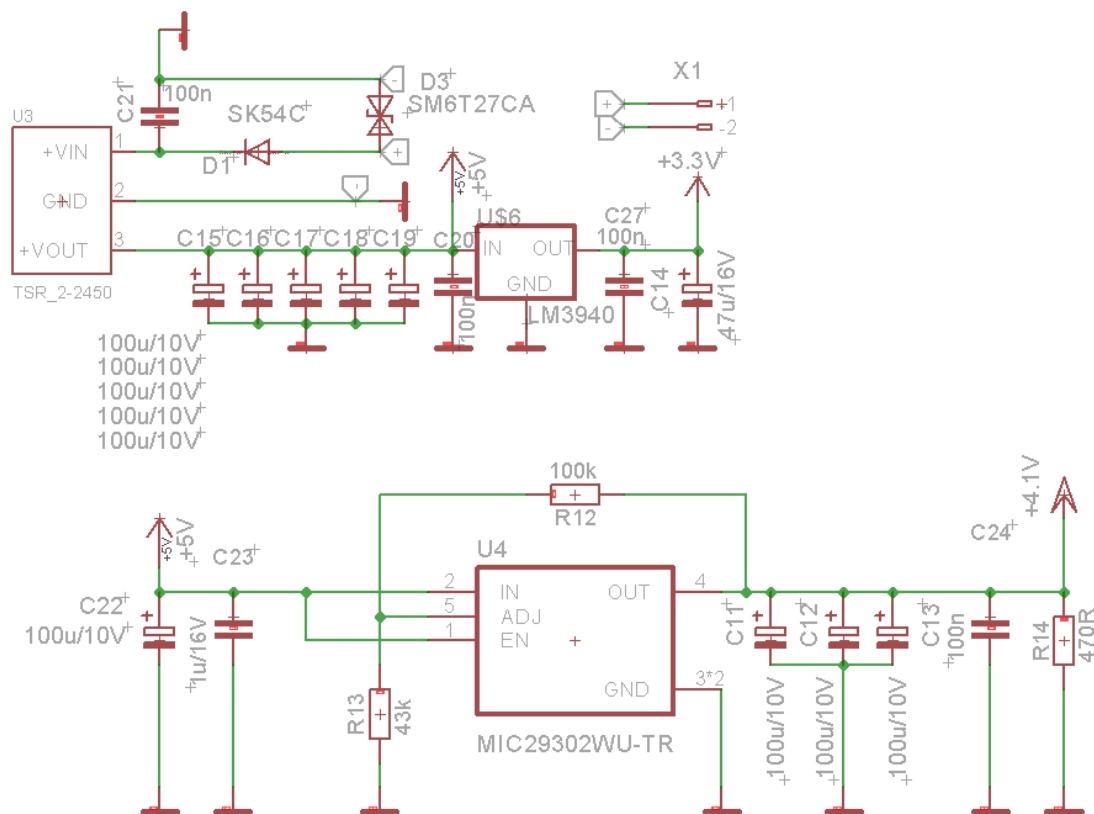
Zobrazovacia jednotka na rozdiel od jednotky pre zber dát už potrebuje viacero napätí pre napájanie periférií. Konkrétne je potreba napájania 3.3 V pre mikrokontrolér, modul bezdrôtového prenosu dát v ISM pásme, 5 V pre LCD displej a 4.1 V pre GSM modul. Koncept zdrojovej časti je riešený vytvorením 5 V zo vstupného napätia pomocou spínaného znižujúceho DC/DC meniča, opäť od spoločnosti TRACO, TSR2-2450, ktorý umožňuje prúdový odber až 2 A. Účinnosť meniča sa pohybuje od 89 do 94 % podľa veľkosti vstupného napätia. [31]

Ostatné zdroje, 3.3 a 4.1 V, sú riešené lineárnymi regulátormi. Pre Napätie 3.3 V je použitý obvod LM3940, ktorý umožňuje odber až 1 A. [32]

Návrh zdrojovej časti GSM modulu, teda napätia 4.1 V, vychádza z doporučeného zapojenia pre konkrétny GSM modul SIM800L z katalógového listu, a je použitý obvod

MIC29302WU. Zdroj pre GSM modul musí byť schopný dodať krátkodobý prúd až do 2 A.[33]

Ako kondenzátory pre zníženie napäťového zvlnenia sú použité tantalové kondenzátory, ktoré sú v prípade vyšších hodnôt radené paralelne, čím sa zníži ekvivalentný sériový odpor (ESR). Rovnako ako v prípade časti pre zber dát je pridaná prepäťová ochrana a dióda proti prepólovaniu. Výsledná schéma je na obrázku 3.13.

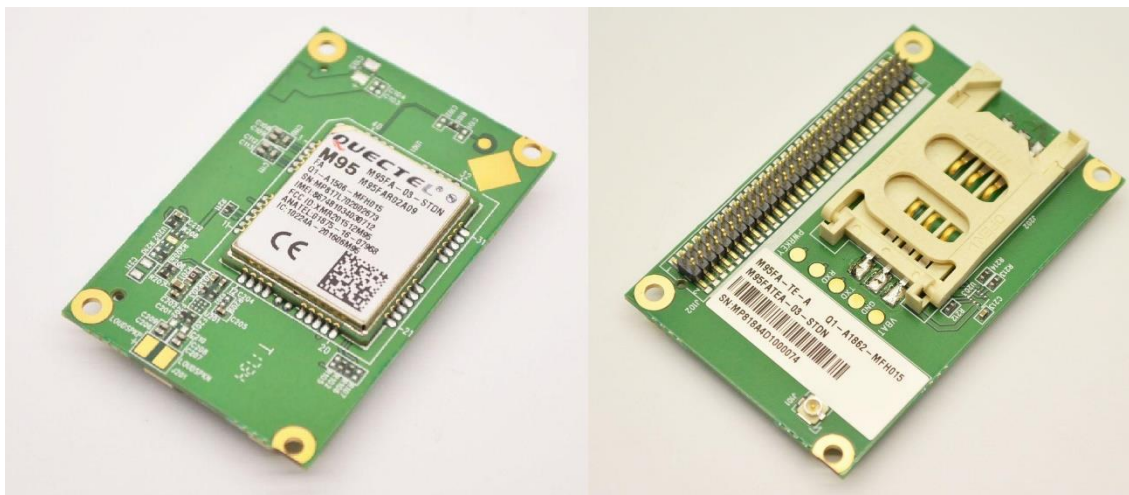


Obrázok 3:13 Schéma napájacej časti zobrazovacej jednotky

3.2.2 GSM Modul

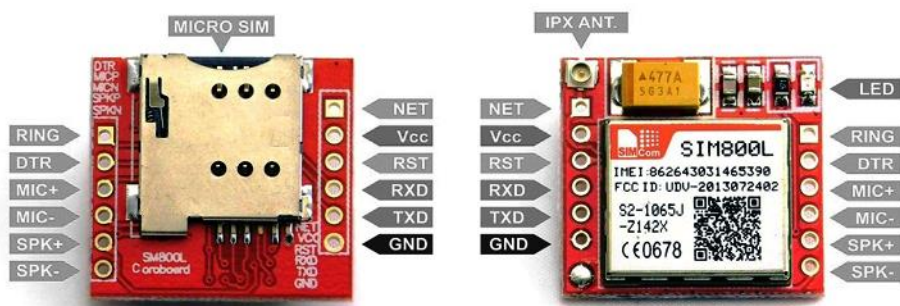
Vzhľadom k tomu, že GSM modul v zariadení bude fungovať iba na posielanie SMS správ, postačí 2G modul. Požiadavka na modul bola, aby bol už zospájkovaný na plošnom spoji a súčasne, aby obsahoval slot na SIM kartu.

Do úvahy pripadal 2G modul od spoločnosti Quectel, typ M95. Modul pracuje cez rozhranie UART, cena modulu sa pohybuje okolo 700 Kč. Napájanie modulu je v rozsahu 3.3 až 4.6 V (nominálne 4.0 V) a modul obsahuje aj slot na SIM kartu. [34] Ukážka modulu je na obrázku 3.14.



Obrázok 3:14 Ukážka GSM modulu M95 od spoločnosti Quectel [34]

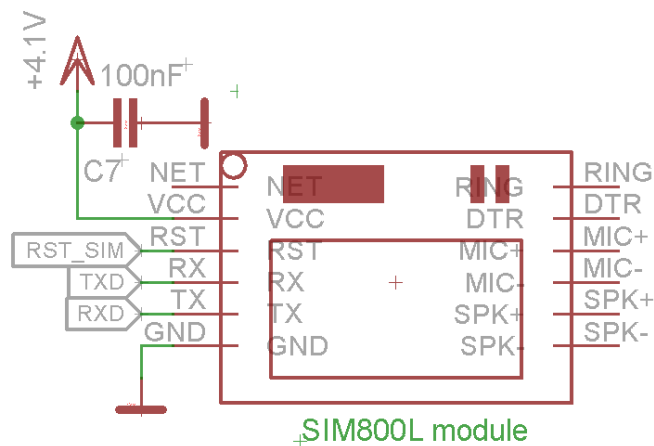
Druhý modul, ktorý pripadal do úvahy a napokon bol aj zvolený je modul so SIM800L od spoločnosti SIMCom, na ktorom sa taktiež nachádza aj slot pre SIM kartu. Ten je vidieť na obrázku 3.15. SIM800L bol napokon zvolený z dôvodu výrazne nižšej ceny, ktorá sa pohybuje okolo 270 KČ a zároveň má modul SIM800L menšie rozmery.



Obrázok 3:15 Ukážka zvoleného GSM modulu so SIM800L [35]

Modul komunikuje prostredníctvom rozhrania UART. Vzhľadom k tomu, že GSM modul pracuje s napätím 4,1 V a mikrokontrolér 3.3V a z katalógového listu mikrokontroléru vyplýva, že na vstup je možné pripojiť maximálne napätie vo výške napájacieho napätia plus 0.5 V, nie je tak možné pripojiť vývody priamo, ale na vývod RXD mikrokontroléra je zaradený delič, ktorý napätie z GSM modulu zníži na povolené. [36][37]

Schéma pripojenia GSM modulu k mikrokontroléru je na obrázku 3.16. K mikrokontroléru sú pripojené vývody RX,TX a reset.



Obrázok 3:16 Schéma zapojenia GSM modulu

Komunikácia GSM modulu s mikrokontrolérom prebieha pomocou tzv. AT príkazov. AT príkaz obsahuje prefix AT (prípadne aT alebo at) na začiatku každého AT príkazu a následne konkrétny príkaz podľa operácie, ktorá sa má vykonať. [38]
Ukážka formátu a použitia AT príkazov spolu s popisom je uvedená na obrázku 3.17, ukážka znázorňuje poslanie SMS správy.

```
AT+CREG?
Odpoveď musí byť +CREG: 0,1
AT+CMGF=1
Odpoveď musí byť OK.
AT+CMGS="+420123456789"
Počkat znak > (väčší než)
Odeslat text: Ahoj, toto je testovací zprava.
Poslat CTRL+Z
Odpoveď musí byť: +CMGS: .....
AT+CMGF=0
Odpoveď musí byť OK.
```

Obrázok 3:17 Ukážka poslania SMS správy pomocou AT príkazov[39]

3.2.3 LCD displej

Pri prvotnom výbere displeja do zobrazovacej jednotky bola pozornosť zameraná na LCD displeje pracujúce s napájacím napätím 3,3 V. Ďalšou požiadavkou na displej bola schopnosť zobrazit' aspoň 80 znakov súčasne.

Do úvahy pripadal v tomto prípade znakový LCM displej EA DOGM204B-A od spoločnosti Electronic assembly s modrou farbou podsvietenia a bielymi znakmi, ktorý

je zobrazený na obrázku 3.18. Displej disponuje praktickými, malými rozmermi 63x26mm a formátom 4 riadky a 20 znakov na riadok a pomerne nízkym odberom podsvietenia, ktorý je pri napájaní napätím 3.3 V iba 80 mA. Displej obsahuje radič SSD1803A, ktorý umožňuje ovládanie displeja v 4 alebo 8 bitovom móde, pomocou rozhrania SPI alebo rozhrania I2C. Cena displeja je približne 440 Kč. [40]



Obrázok 3:18 Ukážka vyhotovenia displeja EA DOGM204B-A od spoločnosti Electronic assembly [41]

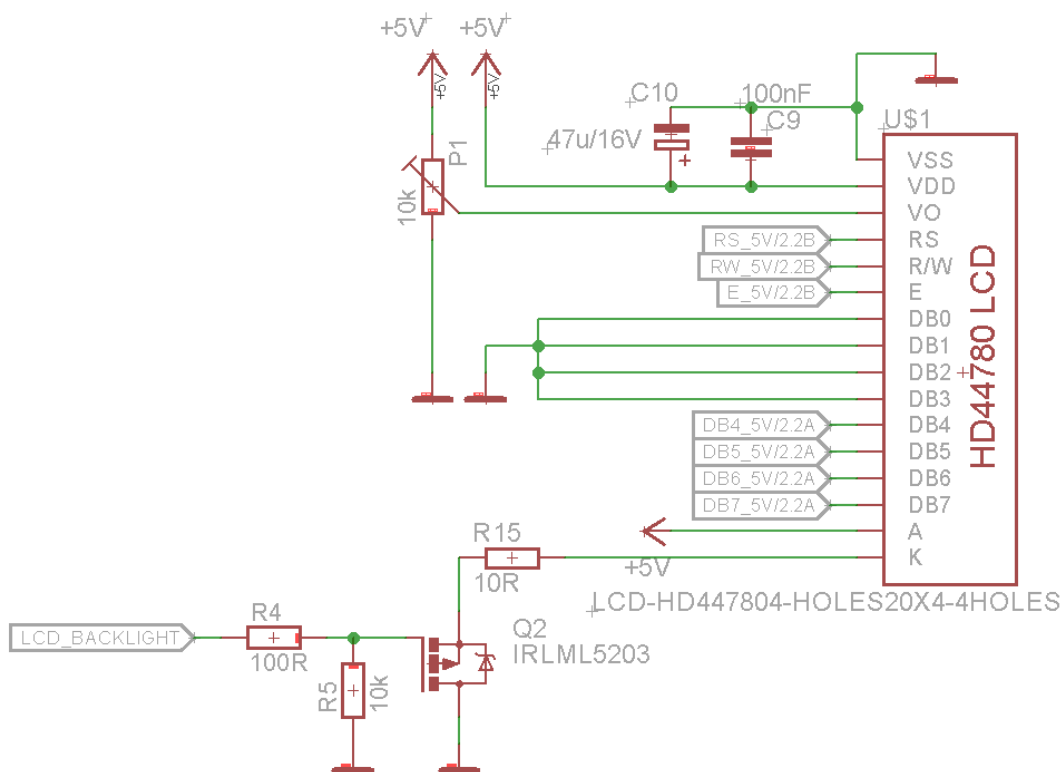
Pre účely aplikácie bol ale napokon po konzultácii s vedúcim práce zvolený LCD displej pracujúci s napájacím napätím 5V so 4 riadkami a 20 znakmi na riadok s radičom HD44780 pracujúci buď v 4 alebo 8 bitovom móde, konkrétne typ WH2004-YGH-CT od spoločnosti Winstar s čiernym textom a žltozelenou farbou podsvietenia a 5V napájaním. Rozmer displeja je 98x60mm. [42]
Cena displeja sa pohybuje okolo 300 Kč. Ukážka vyhotovenia displeja je na obrázku 3.19.



Obrázok 3:19 Ukážka vyhotovenia použitého LCD displeja WH2004-YGH-CT [42]

Schéma displeja je znázornená na obrázku 3.20. Displej bude prevádzkovaný v 4-bitovom móde, čím sa ušetria výstupy mikrokontroléra. Trimrom P1 je možné nastaviť kontrast displeja. Podsvietenie je možné vypínať a zapínať z mikrokontroléra, kde je spínané tranzistorom MOSFET určeným pre spínanie z logických úrovní. Pre rezistor R15 je použité klasické puzdro (nie SMD) z dôvodu možných vyšších

výkonových strát aké sú možné na SMD rezistoroch, použitý je štandardný 0,6 W rezistor.

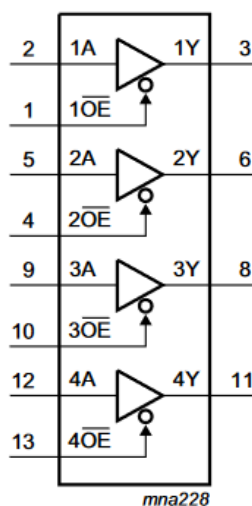


Obrázok 3:20 Schéma zapojenia LCD displeja

3.2.4 Prevodník 3.3V/5V

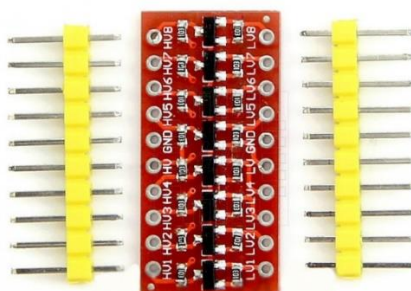
Vzhľadom k tomu, že displej je napájaný z 5 V a mikrokontrolér z 3.3 V, je nutné logické úrovne z mikrokontroléra premeniť na 5 V logiku a naopak. Naopak je to nutné, pokiaľ by bola potreba dáta z displeja čítať, čo sa môže hodiť napr. pre tzv. Busy flag. Do úvahy pripadal integrovaný obvod 74HCT125D, ktorý by prevádzal logickú úroveň iba jedným smerom. Vnútorňá schéma integrovaného obvodu je na obrázku 3.21. Výhodou tohto riešenia by bola celá funkcionálna umiestnená v jednom integrovanom obvode. Zapojenie by predstavovalo uzemnenie všetkých vývodov OE, čo značí stav odlišný od stavu vysokej impedancie a pripojenie signálov priamo na vstup integrovaného obvodu. Integrovaný obvod obsahuje vstupy pre 4 signály. [43]

Toto riešenie napokon nebolo použité z dôvodu práve jednosmernosti prevodu 3.3 V na 5 V, čo by znížilo univerzálnosť návrhu zobrazovacej jednotky.



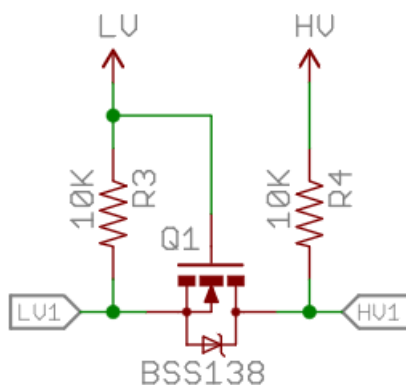
Obrázok 3:21 Vnútrotná schéma integrovaného obvodu 74HCT125D [43]

Ako prevodník bol napokon zvolený modul, ktorý je na obrázku 3.22.



Obrázok 3:22 Ukážka obojsmerného prevodníka 3.3V/5V [44]

Každý kanál je zložený z tranzistora typu MOSFET a 2 odporov, vnútrotná schéma zapojenia jedného kanálu je na obrázku 3.23.



Obrázok 3:23 Schéma jedného kanálu obojsmerného prevodníka 3.3V/5V [45]

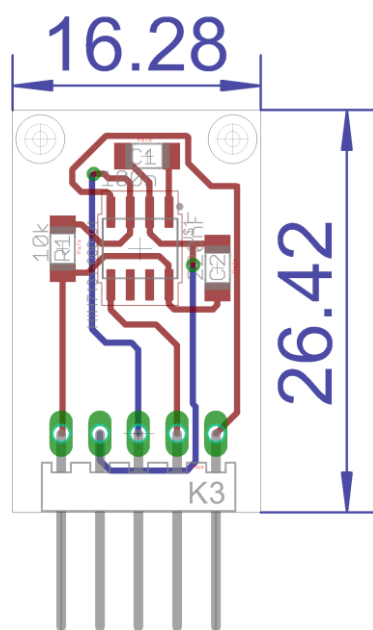
4 NÁVRH DOSIEK PLOŠNÝCH SPOJOV

Schéma aj plošné spoje boli navrhované v programe Eagle od spoločnosti Autodesk. Celkovo sa zariadenie skladá z 3 návrhov plošných spojov. Jeden návrh plošného spoja zahŕňa dosku, kde bude osadený snímač a konektory pre prepojenie s druhým plošným spojom a to časťou pre zber dát. Posledný návrh plošného spoja je pre zobrazovaciu jednotku.

Pri návrhu plošných spojov bol kladený dôraz na krátku dĺžku ciest, umiestnenie blokovacích kondenzátorov v blízkosti modulov, či mikrokontroléra, hrúbky ciest podľa očakávaného prúdového zaťaženia. Plošné spoje sú realizované ako obojstranné. Prevedenie súčiastok je volené predovšetkým SMD, pasívne prvky najčastejšie veľkosť 1206. Na plošných spojoch mimo plošného spoja pre snímač sú navyše pridané plôšky, ktoré tvoria univerzálny plošný spoj, kde si užívateľ môže pohodlne pridať periférie, ktoré potrebuje.

4.1 Plošný spoj pre snímač

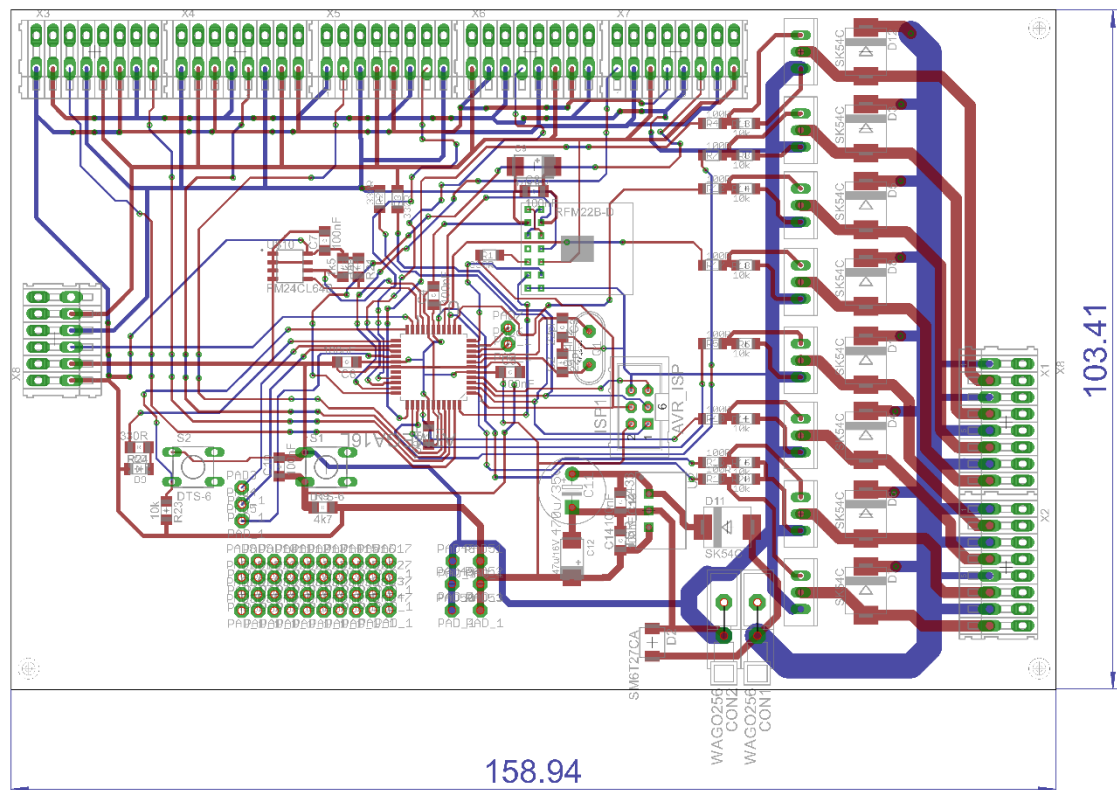
Pri návrhu bol kladený dôraz na malý rozmer plošného spoja, na spôsob pripojenia vodičov z časti zberu dát, kde keďže snímač je odolný proti kondenzácii, tak sú vodiče umiestnené ďalej od snímača, aby bolo možné vodiče zaliat'. Plošný spoj pre snímač je zobrazený na obrázku 4.1. Rozmer plošného spoja je 16x26mm. Podrobnejšie je plošný spoj ukázaný v prílohe 6, kde je zobrazená spodná a vrchná vrstva spolu s osadzovacím plánom.



Obrázok 4:1 Plošný spoj pre snímač

4.2 Plošný spoj časti pre zber dát

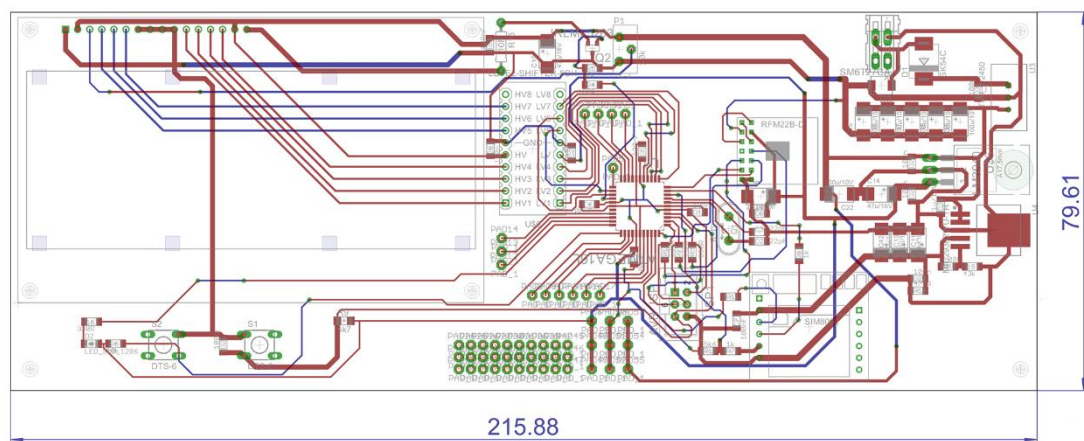
Časť pre zber dát má po stranách umiestnené konektory tak, aby bolo jasné, ktorý konektor má viesť k čomu, vzhľadom k tomu, že doska obsahuje konektory na snímače teploty a vlhkosti v úľoch, snímač teploty a vlhkosti okolia a konektory pre kúrenie úľov. Rozmer plošného spoja je 159x103mm. Všetky súčiastky sú osádzané na vrchnej vrstve. Plošný spoj je na obrázku 4.2, jednotlivé vrstvy, spodná a vrchná spolu s osadzovacím plánom, sú podrobnejšie zobrazené v prílohe 4.



Obrázok 4:2 Plošný spoj pre časť zberu dát

4.3 Plošný spoj pre zobrazovaciu časť

Zobrazovacia časť má po ľavej strane displej spolu s resetovacím tlačidlom. Po pravej strane sa nachádza zdrojová časť, ktorá je v blízkosti napájania jednotlivých periférií. Ilustrácia plošného spoja je na obrázku 4.3. Rozmer plošného spoja je 216x80mm. Všetky súčiastky sú opäť osádzané na vrchnej vrstve. Podrobnejšie je plošný spoj ukázaný v prílohe 5, kde je zobrazená spodná a vrchná vrstva spolu s osadzovacím plánom.

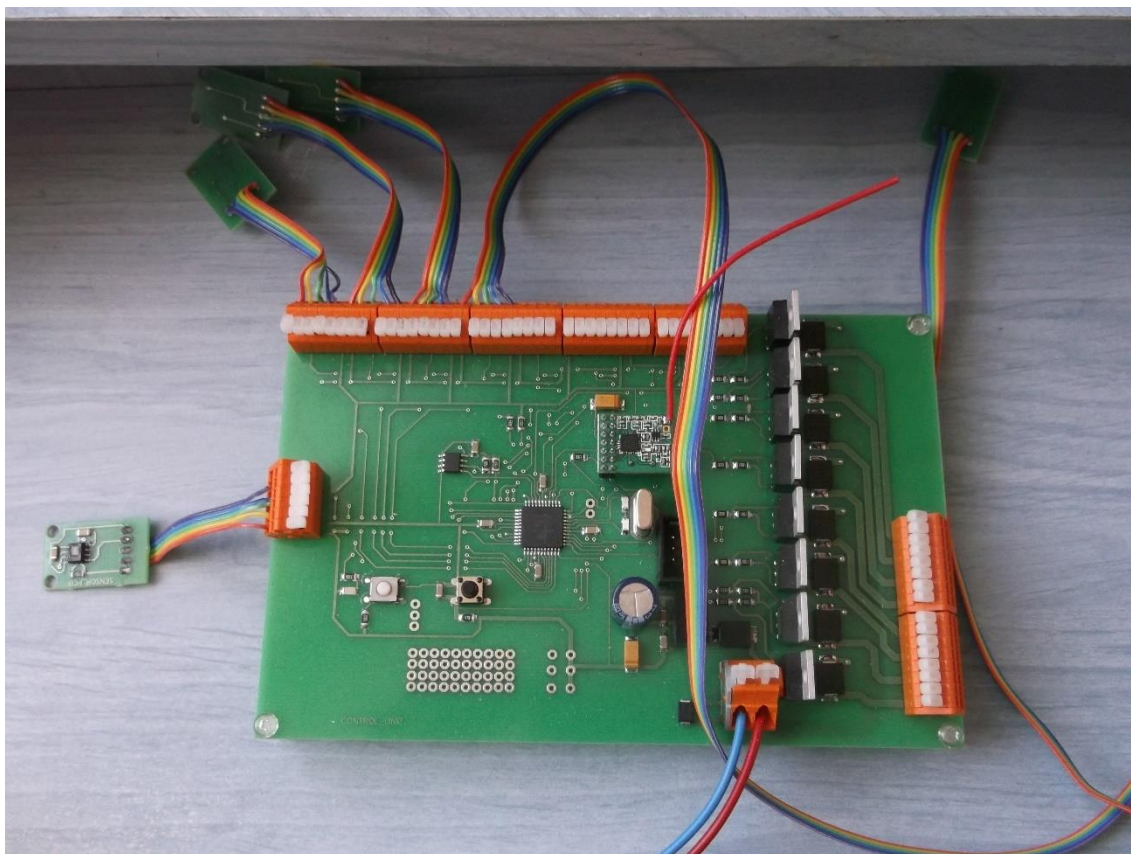


Obrázok 4:3 Plošný spoj pre zobrazovaciu časť

5 OŽIVENIE ZARIADENIA

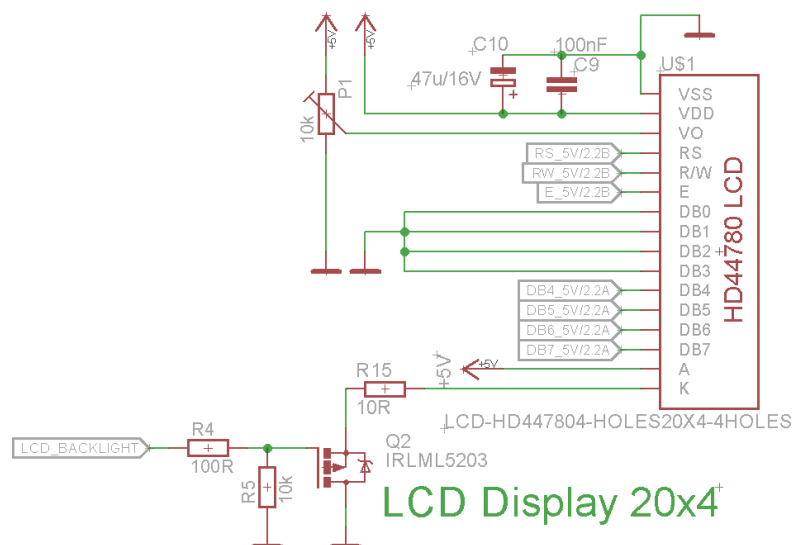
Pri oživovaní zariadenia bol kladený dôraz na otestovanie jednotlivých prvkov v elektrickej schéme. Oživovanie prebiehalo v prvom rade bez jednotlivých zásuvných modulov, kde po pripojení napájacieho zdroja s prúdovým obmedzením by bolo možné identifikovať prípadný skrat na plošnom spoji. Spomenutým postupom sa skrat nevyskytol ani na jednom plošnom spoji. Následne boli overené výstupné napätia jednotlivých napájacích zdrojov. V ďalšom kroku sa overila správna funkcia mikrokontroléra jednoduchým programom na rozblikanie LED diódy. Ďalej už bolo možné pripájať postupne jednotlivé moduly ako ISM vysielateľ–prijímač, obojsmerný prevodník 3.3 V/5 V, LCD displej, GSM modul. Pre každý modul bolo napísané jednoduché programové vybavenie, ktoré daný modul otestovalo. V prípade displeja to bolo vypísanie určitého textu na displej, v prípade GSM modulu to bolo najprv poslanie príkazu „AT“ a sledovanie, či sa dostaví odozva „OK“ a následné poslanie SMS správy s presným tvarom na stanovené číslo. Po oživení LCD displeja bolo možné taktiež skontrolovať komunikáciu cez ISM moduly medzi jednotlivými plošnými spojmi, poslaním presného reťazca z plošného spoja zberu dát do zobrazovacej jednotky, kde sa reťazec zobrazil na displeji. Takto jednoducho napísané programy ďalej potom poslúžili ako základ pre tvorenie programového vybavenia.

V schéme jednotky zberu dát sa pri oživovaní nevyskytol žiadny problém, najprv bola testovaná s pripojeným iba jedným snímačom, potom postupne boli pridávané ďalšie, spolu sú napokon v úľoch pripojené snímače 4 a 1 snímač meria teplotu a vlhkosť okolia. Dĺžky vodičov pre pripojenie snímačov boli zvolené krátke, typicky do 10cm a pre otestovanie funkčnosti bol jeden snímač pripojený vodičmi s dĺžkou približne 1m. Presné veľkosti vodičov jednotlivých snímačov nebolo možné nastaviť z dôvodu nepoznania ich potrebnej dĺžky pri pripojení k včelím úľom. Na jednotlivé vodiče boli zvolené rovnaké farby vodičov podľa jednotlivých signálov pre všetky snímače, čo má za úlohu zvýšiť prehľadnosť. Na obrázku 5.1 je možné vidieť vyhotovenie osadeného plošného spoja časti zberu dát.

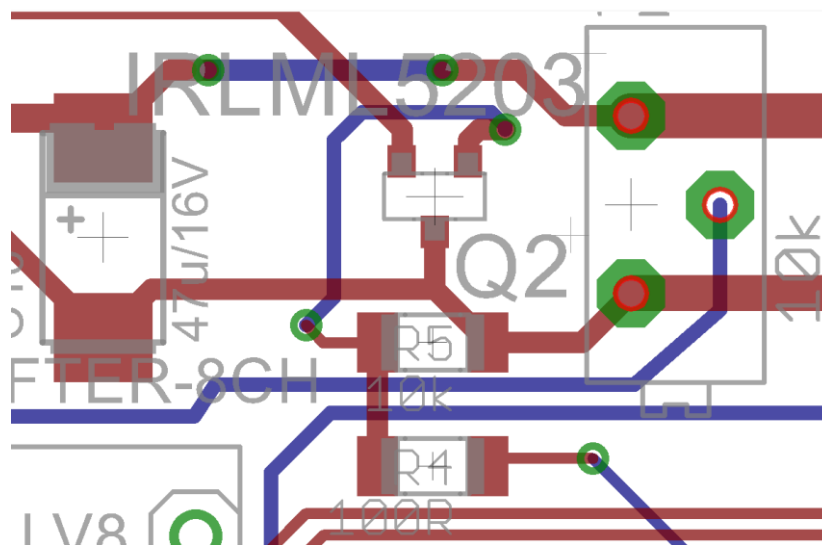


Obrázok 5:1 Ukážka osadeného plošného spoja časti zberu dát

V prípade zobrazovacej jednotky sa vyskytla schematická chyba pri spínaní podsvietenia LCD displeja, kde bol zvolený nevhodný typ tranzistora a to P-MOS namiesto N-MOS, táto chyba (tranzistor Q2) je zobrazená na schéme na obrázku 5.2 a na plošnom spoji na obrázku 5.3

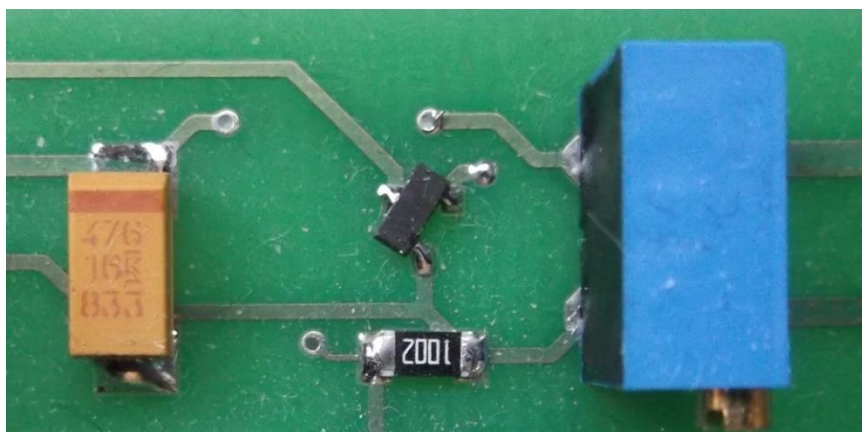


Obrázok 5:2 Schematická chyba v prípade spínania podsvietenia displeja



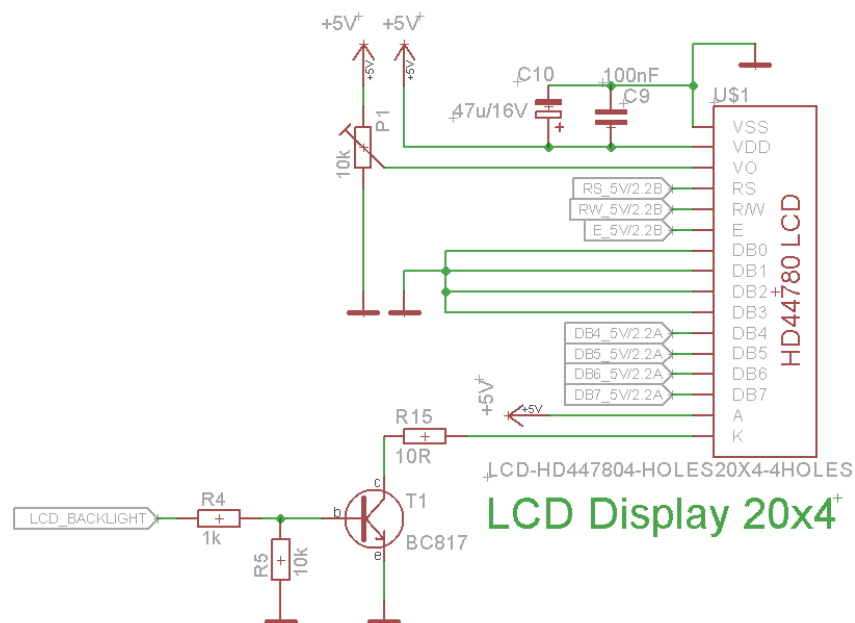
Obrázok 5:3 Schematická chyba ukázaná na plošnom spoji v prípade spínania podsvietenia displeja

Chyba typu použitého tranzistora a teda aj zlé zapojenie vývodov spôsobilo, že nebolo možné nájsť vzhľadom k normalizovanému rozmiestneniu vývodov funkčný ekvivalent. Riešením však bolo osadenie NPN tranzistorom BC817, kde bol tranzistor posunutý o približne 45 ° mimo štandardné osadenie. Fotografia osadeného tranzistora na plošnom spoji je na obrázku 5.4.



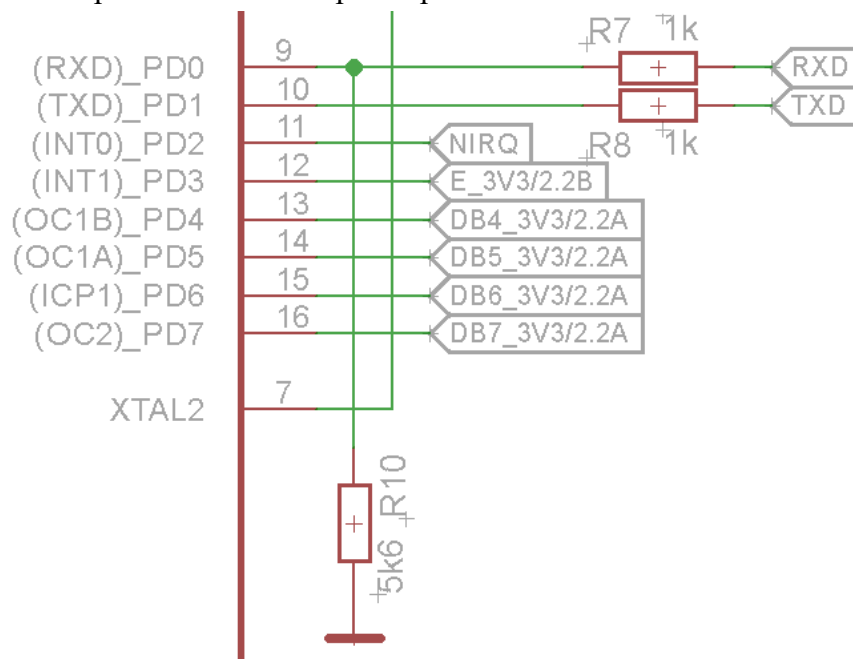
Obrázok 5:4 Oprava chyby použitia nesprávneho typu tranzistora

Opravená schéma zapojenia tranzistora BC817 je zobrazená na obrázku 5.5. Tranzistor je zapojený v spínacom režime a rezistor R4 bol zväčšený zo 100 na 1000 Ω .



Obrázok 5:5 Opravená schéma chyby použitia nesprávneho typu tranzistora

Okrem chyby s použitím nesprávneho typu tranzistora sa na zobrazovacej jednotke vyskytol ešte jeden problém a to s napäťovými úrovňami na vývodoch Rx a Tx GSM modulu. Pôvodný koncept schémy GSM modulu (obrázok 5.6) bol navrhnutý s ohľadom na to, že veľkosť logických úrovní GSM modulu bude rovná napájaciemu napätiu GSM modulu, čo bola nesprávna úvaha. Tým pádom bol chránený mikrokontrolér pomocou napäťového deliča na vývode RXD a logická úroveň TXD z mikrokontroléra považovaná za bezpečnú pre GSM modul.



Obrázok 5:6 Pôvodná chybná schéma napät'ového deliča pri komunikácii mikrokontroléra s GSM modulom

V skutočnosti je však situácia úplne opačná. Z katalógového listu GSM modulu SIM800L vyplýva, že výstupná napäťová úroveň GSM modulu (teda zároveň pripojená vstup mikrokontroléra) zodpovedá hodnote napätia v rozmedzí od 2,7 do 2,8 V.[36]

Vstupná hodnota na vstupe mikrokontroléra zodpovedajúca hodnote logickej 1 podľa katalógu môže byť od 0,6 násobku napájacieho napätia, čo pri tejto aplikácii zodpovedá 1,98 V do hodnoty napájacieho napätia plus 0.5 V, teda 3.8 V.[37]

Na schéme (obrázok 5.3) je teda možné si všimnúť, že rezistor R10 hodnotu znižuje v najhoršom prípade, kde je výstup GSM modulu 2,7 V podľa rovnice 5.1.

$$U_{RXD_MCU} = \frac{R10}{R10 + R7} \times U_{TX_GSM} = \frac{5600}{5600 + 1000} \times 2,7 = 2,29 \text{ V} \quad (5.1)$$

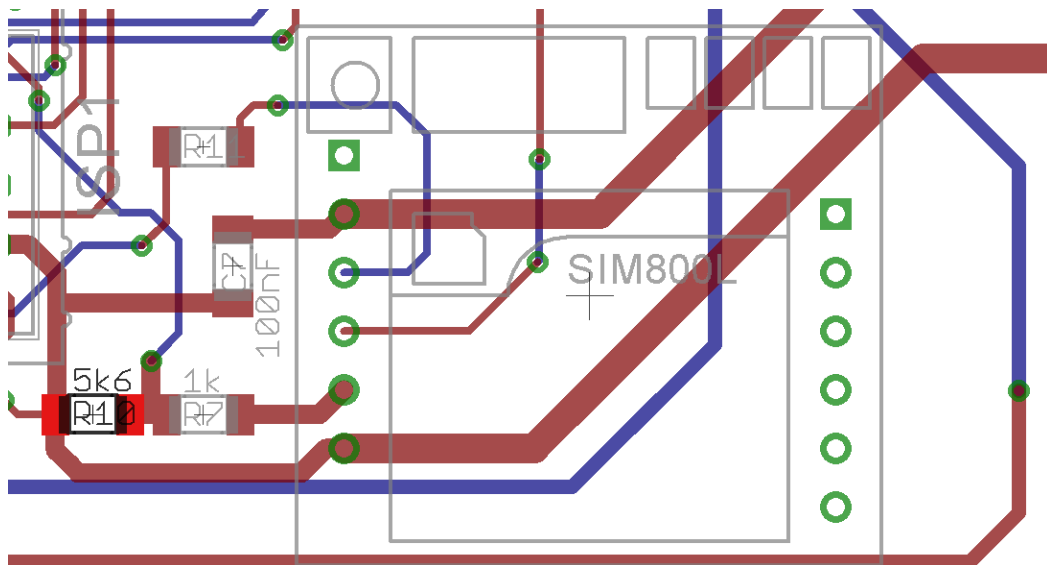
Čo stále zodpovedá správne identifikovaniu hodnoty logickej 1 mikrokontroléra a povolenému napätiu na vstupe. Zapojenie rezistora R10 v schéme teda nemá nepriaznivý vplyv na fungovanie zariadenia, je tam však ale zbytočný a pre prehľadnosť je lepšie rezistor odspájať a z návrhu odstrániť.

Čo ale nepriaznivý vplyv môže mať, je priame prepojenie výstupu TXD mikrokontroléra na vstup RX GSM modulu.

Z katalógového listu GSM modulu vyplýva, že na vstupe RX by mala byť hodnota napätia zodpovedajúca logickej 1 v rozmedzí od 2,5 do 2,8 V [36]. Zo závislosti výstupného prúdu výstupu na výstupnom napätí v prípade logickej 1 vyplýva, že pri malých odberoch, čo signálový vodič predstavuje, je napätie rovné takmer napätiu napájaciemu, v tomto prípade 3.3 V [37]. Je preto nutné pridať rezistor a vytvoriť tak napäťový delič, aby hodnota napätia na RX GSM modulu neprekračovala povolený rozsah a nedošlo tak k možnému poškodeniu modulu. Hodnota rezistora bude vypočítaná tentokrát na dosiahnutie horného limitu napätia na GSM module, teda 2,8 V a to z dôvodu, že hodnota výstupného napätia mikrokontroléra môže byť iba nižšia ako veľkosť napájacieho napätia, pričom jeden rezistor deliča je daný schémou a to 1 kΩ , výpočet je podľa rovnice 5.2.

$$R_x = R_8 \times \frac{U_{RX_GSM}}{U_{TXD_MCU} - U_{RX_GSM}} = 1000 \times \frac{2,8}{3,3 - 2,8} = 5600 \Omega \quad (5.2)$$

Hodnota rezistora presne zodpovedá 5600 Ω, čo zodpovedá bežne používaným hodnotám rezistorov rady E12, je ho teda možné rovno použiť a nie je potreba výsledok nijak zaokrúhľovať. Zároveň je možné rovno použiť vyspájkovaný rezistor R10, ktorý má hodnotu práve 5600 Ω. Chybná časť návrhu plošného spoja spolu s vyznačeným rezistorom R10 je zobrazená na obrázku 5.7.



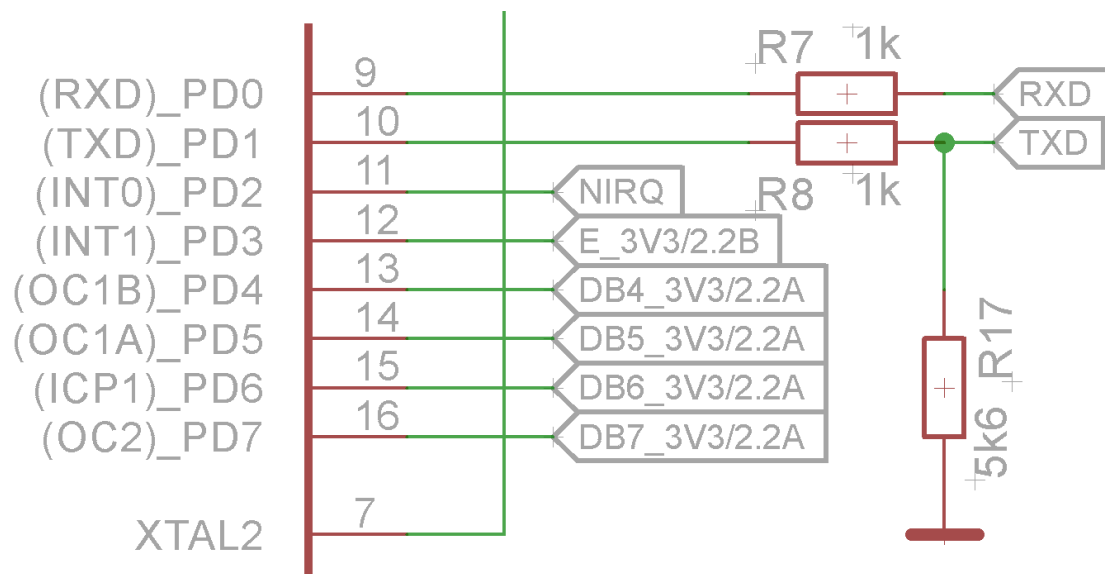
Obrázok 5:7 Plošný spoj schematickej chyby deliča – vyznačený chybný rezistor R10

Odspájkovaný rezistor R10 bol následne na vytvorenie deliča pri vývode RX GSM modulu naspájkovaný priamo na modul medzi vývody RX a GND. Výsledná realizácia je spolu s vyspájkovaným rezistorom R10 ukázaná na obrázku 5.8.



Obrázok 5:8 Oprava chyby napäťového deliča

Opravená schéma zapojenia je zobrazená na obrázku 5.9.



Obrázok 5:9 Opravená schéma zapojenia chyby napät'ového deliča

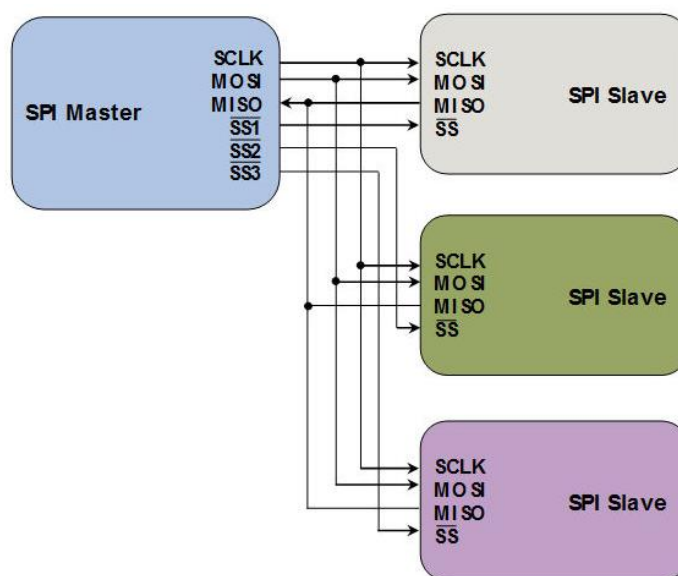
6 PROGRAMOVÉ VYBAVENIE A TESTOVANIE

V prípade tvorby programového vybavenia boli pre obsluhu LCD displeja a ISM modulu využité hotové knižnice, pre zvyšné moduly a beh programu bolo programové vybavenie vytvorené.

6.1 Popis rozhrania SPI (Serial peripheral interface) [46]

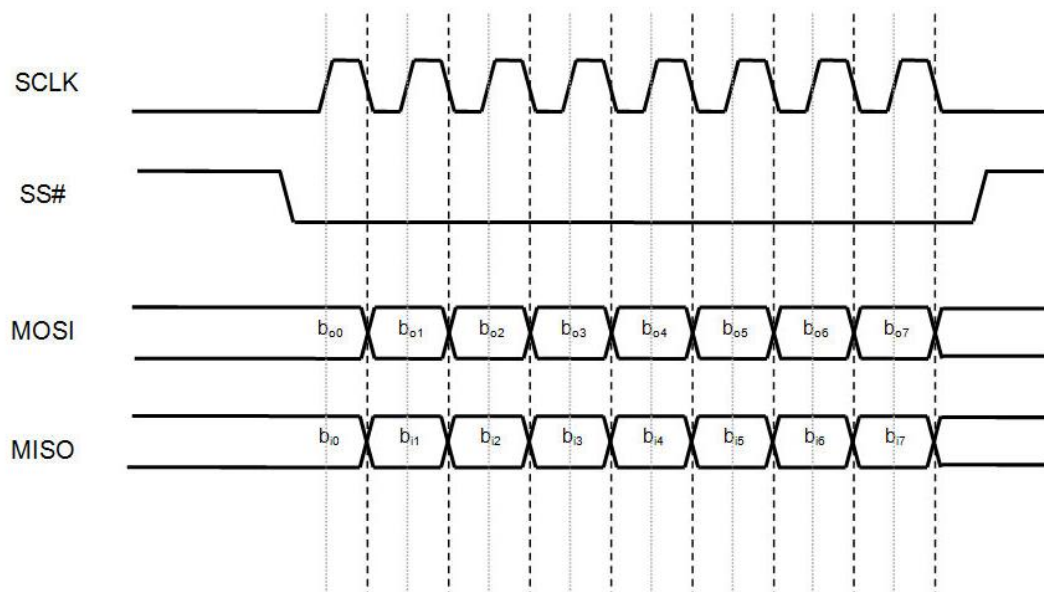
SPI je protokol pre 4 signálové vodiče a to hodinový signál (SCLK), posielaný zo zariadenia typu Master do všetkých zariadení typu Slave, všetky signály sú synchronizované na tento hodinový signál, signál výberu zariadenia (SS), slúžiaci pre výber zariadenia typu Slave, s ktorým bude Master komunikovať a dátových vodičov určených ako pre prenos zo zariadenia Master do zariadenia Slave (MOSI), ale aj zo zariadenia typu Slave do zariadenia typu Master (MISO).

Topológia rozhrania pre pripojenie viacerých zariadení typu Slave je zobrazená na obrázku 6.1



Obrázok 6:1 Topológia rozhrania SPI pre viacero zariadení typu Slave [46]

Zariadenie typu Master je iniciátorom komunikácie so všetkými zariadeniami typu Slave. Pri požiadavke na poslanie dát, vyberie Master zariadenie typu Slave tak, že na požadovaný signálový vodič SS nastaví hodnotu logickej 0 a aktivuje hodinový signál a buď na signálový vodič MOSI v prípade zápisu dát pošle, prípadne zo signálového vodiča MISO dáta vyčíta. Tento proces je znázornený na časovom diagrame na obrázku 6.2.



Obrázok 6:2 Časový diagram rozhrania SPI [46]

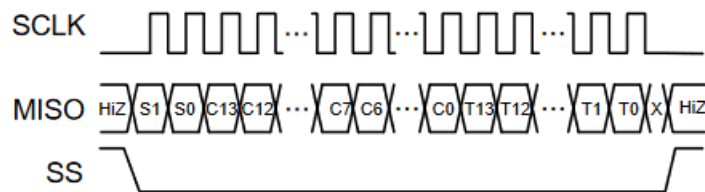
6.1.1 Použitie rozhrania SPI pre komunikáciu so snímačom [47]

Snímač teploty a vlhkosti HIH7131 je prispôsobený, aby počas celej doby pracoval ako zariadenie typu Slave. Konfigurácia je daná tak, že snímač mení data na vodiči MISO so zostupnou hranou hodinového signálu. To znamená, že zariadenie typu Master by malo vzorkovať signál MISO na opačnú, nábežnú hranu. Podľa typu aplikácie dáva snímač na výstup až 4 bajty dát. Prvé 2 bity sú stavové, ktoré vyjadrujú, či už boli alebo neboli dáta predtým zachytené alebo či nie je senzor v móde príkazov, ktorý by však nemal nastať počas bežnej prevádzky. Za stavovými bitmi nasleduje do bajtu zvyšných 6 a následne 8 bitov vyjadrujúcich nameranú vlhkosť a 14 bitov nameranej teploty. Posledné 2 bity sú nepodstatné a v programe ignorované. Časový priebeh jednotlivých bitov je znázornený na obrázku 6.3. V prípade nameranej hodnoty vlhkosti, ktorá je v rozsahu 0 (zodpovedá snímača výstupu 0) až 100 % (zodpovedá hodnote $2^{14}-2$) je výpočet podľa rovnice 6.1.

$$H = \frac{\text{SensorOutputValue}}{2^{14} - 2} \times 100 \quad [\%] \quad (6.1)$$

V prípade nameranej teploty zodpovedá nulový výstup snímača hodnote $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a maximálny výstup hodnote $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prepočet je podľa rovnice 6.2.

$$T = \frac{\text{SensorOutputValue}}{2^{14} - 2} \times 165 - 40 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.2)$$

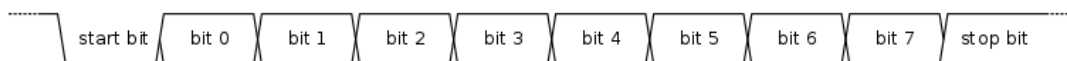


Obrázok 6:3 Časový diagram rozhrania SPI snímača teploty a vlhkosti spolu s významom jednotlivých bitov [47]

6.2 Popis rozhrania UART [48]

UART (Universal asynchronous receiver–transmitter), v preklade univerzálny asynchrónny prijímač–vysielač) vezme bajt dát a postupne po samostatných bitoch ho v sekvencii prenáša po linke. Každý UART obsahuje posuvný register, ktorý je hlavnou metódou konverzie medzi paralelnou a sériovou formou dát. Sériový prenos digitálnej informácie cez jeden vodič je menej nákladný ako paralelný prenos cez viacero vodičov. Komunikácia môže prebiehať jednosmerne, bez toho, aby prijímač odosiela informácie späť do vysielača (simplex), obe zariadenia môžu vysielať aj prijímať súčasne (full duplex) alebo striedavo (half duplex).

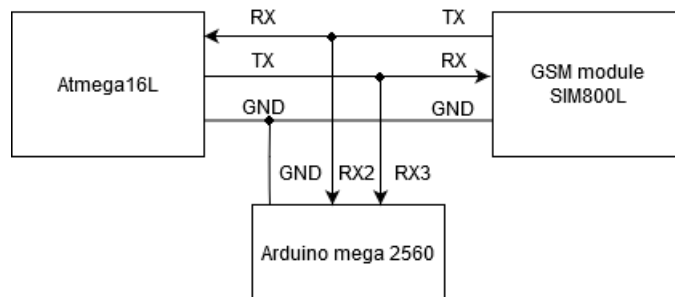
Rámec každého znaku je tvorený štart bitom, dátovými bitmi, možným paritným bitom a jedným alebo viacero stop bitmi. Ukážka možného rámca je na obrázku 6.4. Tým, že je hodnota štart bitu logická 0 a stop bitu logická 1, medzi znakmi sú tak garantované minimálne 2 signálové zmeny.



Obrázok 6:4 Ukážka rámca rozhrania UART [48]

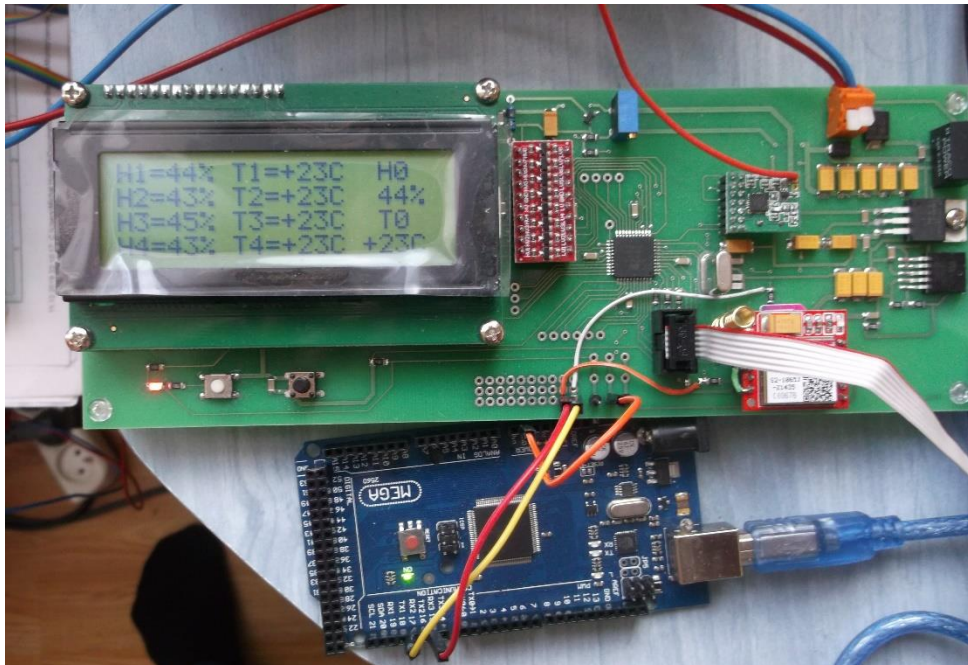
6.3 Prípravok na kontrolu toku dát rozhrania UART

Počas tvorby programového vybavenia vznikla potreba možnosti sledovať, čo sa rozhraním UART skutočne posieľa, a čo je naopak prijímané prostredníctvom terminálu. Na trhu je možné na daný účel zakúpiť napríklad prevodníky USB/TTL. Pre účely však bol z dôvodu ľahkej dostupnosti použitý prípravok Arduino 2560 Mega, ktorý disponuje viacero nezávislými rozhraniami UART a bol napísaný jednoduchý program, ktorý vypíše do terminálu všetky prijaté dáta rozhrania UART 2 a 3. Bloková schéma zapojenia prípravku k zariadeniu zobrazovacej jednotky je na obrázku 6.5.



Obrázok 6:5 Bloková schéma zapojenia prípravku Arduino k zariadeniu zobrazovacej jednotky

Na plošnom spoji zobrazovacej jednotky bol k tomuto účelu využitý navrhnutý univerzálny plošný spoj s voľnými vývodmi, kde boli naspájkované kolíkové lišty pre jednoduché a rozoberateľné pripojenie prípravku Arduino. Realizácia je znázornená na obrázku 6.6.



Obrázok 6:6 Realizácia zapojenia prípravku Arduino k zariadeniu zobrazovacej jednotky pre monitorovanie rozhrania UART

Vývojové prostredie Arduino obsahuje priamo terminál, kde je možné dáta zobrazovať. Je taktiež možné zapnúť si časovú značku, dáta je teda vidieť prehľadne za sebou podľa toho, ako boli posielané, ukážka terminálu a výstupu zariadenia po inicializácii je na obrázku 6.7.



Obrázok 6:7 Ukážka výstupu z terminálu

Pomocou prípravku tak bolo možné odhaliť napríklad chybu nesprávneho Baud rate spôsobenú používaním interného oscilátora namiesto externého kryštálu, či napríklad zapnuté ECHO v prípade GSM modulu, ktoré zbytočne zahlcovalo sériovú linku.

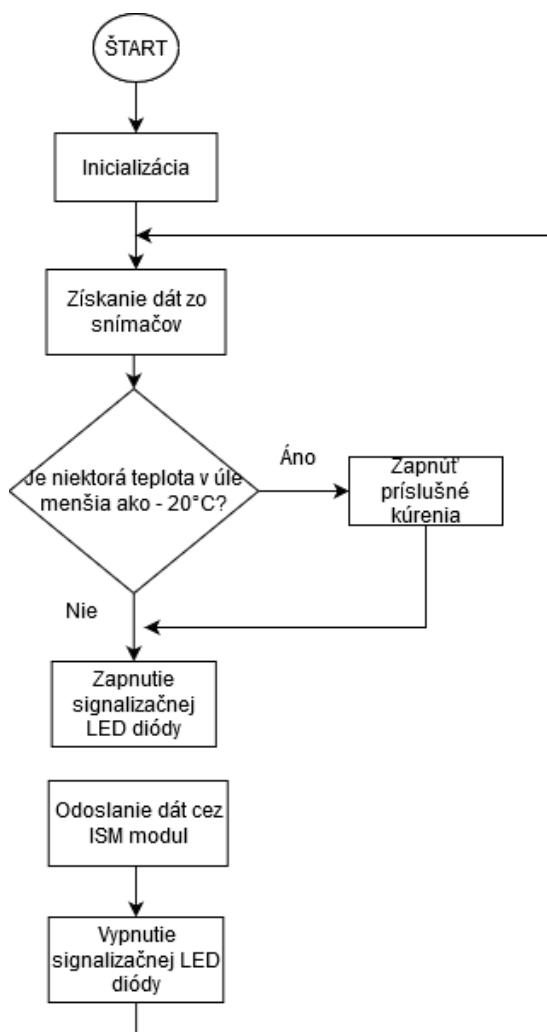
6.4 Popis funkcie programu bezdrôtového ISM modulu

Pri práci s knižnicou boli využité funkcie inicializácie modulu (`rfm22_init`), nastavenia frekvencie (`rf22_setfreq`), uvedenie modulu do prijímacieho módu (`rfm22_rxmode`), prijatie dát (`rf22_getpacket`) a poslanie dát (`rf22_sendpacket`). Inicializácia zahŕňa napríklad nastavenie, resp. povolenie a zakázanie rôznych prerušení, nastavenie módu READY, ktorý poskytuje rýchly prechod do režimu TX s primeranou spotrebou prúdu (modul obsahuje celkom 8 módov: SHUTDOWN, STANDBY, SLEEP, SENSOR, READY, TUNING, TRANSMIT, RECEIVE), nastavenie funkcie univerzálnych vstupov, výstupov, nastavenie vstavaného teplotného snímača, nastavenie paketu, zapnutie funkcie kontrolného súčtu (CRC), nastavenie výkonu vysielача.

6.5 Programové vybavenie časti zberu dát

Na obrázku 6.8 je znázornený vývojový diagram časti zberu dát. Začína blokom inicializácie, kde sú nastavené potrebné vstupy a výstupy. Vzhľadom k tomu, že sa na plošnom spoji nachádza súčasne ISM modul a snímače teploty a vlhkosti, pričom obe zariadenia pracujú cez rozhranie SPI, je nutné vždy pred použitím každého z nich uskutočniť inicializáciu na konkrétne zariadenie. Frekvencia hodinového signálu pre snímače bola zvolená v povolenom rozsahu na čo najmenšiu hodnotu z dôvodu zníženia vplyvu rušenia na 62,5 kHz. Ďalším blokom je získanie dát zo snímačov. Pre prehľadnosť programu bola vytvorená štruktúra včelieho úlu, ktorá obsahuje hodnotu vlhkosti, hodnotu teploty a požadovaný výstup na ovládanie kúrenia daného úlu. Podľa počtu včelích úlov, či potrebného pridania úlu je tak možné pomerne rýchlo program upravovať. Získanie dát zo snímačov predstavuje vyčítanie hodnoty teploty a vlhkosti a uloženie do jednotlivých štruktúr včelích úlov. Následne prichádza kontrola teploty

a v prípade, že je teplota menšia ako $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, zapne sa príslušné kúrenie. Fixná hodnota je zvolená schválne z dôvodu, že kúrenie by sa malo zapínať iba v nevyhnutných prípadoch, kedy by včely nemuseli byť schopné udržiavať teplotu samostatne. Vzhľadom k tomu, že jednotlivé kúrenia neboli k dispozícii a nebolo možné vytvoriť klimatické podmienky zodpovedajúce teploty $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, obvod spínania kúrenia bol otestovaný manuálne zapínaním príslušných výstupov a kúrenie simulované pomocou LED diód na kontaktnom poli.



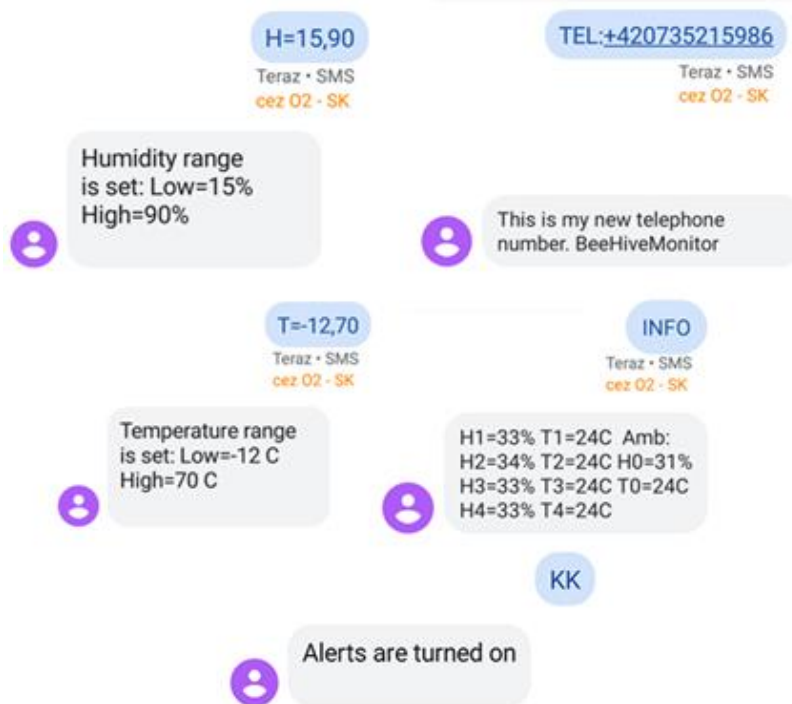
Obrázok 6:8 Vývojový diagram časti zberu dát

Poslednou časťou je odoslanie aktuálnych dát pomocou ISM modulu do zobrazovacej jednotky, tento proces je signalizovaný prebliknutím LED diódy, čím je zároveň aj indikované, že časť zberu dát je pod napätím a zariadenie funguje. Pred odoslaním dát je opäť zmena konfigurácie rozhrania SPI. Po úspešnom odoslaní dát sa znova pokračuje so zbieraním dát nových. Dáta sú aktualizované približne v časovom intervale 3s.

6.6 Programové vybavenie zobrazovacej jednotky

6.6.1 Komunikácia pomocou SMS správ

V prípade komunikácie pomocou SMS správ bol kladený dôraz na to, aby po prijatej správe vždy bola odozva v podobe spätnej odoslanej SMS správy o nastavení. Vzhľadom na pomerne vysoké náklady pravidelných SMS správ sú implementované iba skutočne základné a nutné funkcie. Implementované sú funkcie získania informácií o hodnotách veličín teploty a vlhkosti všetkých snímačov, vo forme poslania SMS správy „INFO“, nastavenie rozsahu teploty a vlhkosti, kde v prípade vyjdenia z rozsahu príde SMS notifikácia o nutnosti zásahu do konkrétneho úľa spolu s hodnotami nameraných veličín, formát nastavenia je „H=x,y“, kde „x“ je hodnota dolného a „y“ horného rozsahu vlhkosti, v prípade teploty je to podobné „T=x,y“. Implementovaná bola aj možnosť zmeny telefónneho čísla, na ktoré budú chodiť spätné SMS správy, formát SMS správy je „TEL:+xxxxxxxxxxxx“, kde za x sa zadá telefónne číslo. Poslednou funkciou je vynulovanie informácie o poslaní notifikácie k zásahu, teda v prípade prekročenia rozsahu systém bude opätovne schopný poslať ďalšiu notifikáciu, formát tejto SMS správy je „KK“. Všetky nastavené údaje sú vkladané do internej pamäte EEPROM mikrokontroléra, aby boli uložené a znovu načítané aj v prípade výpadku napájania. Ukážky formátov SMS spolu s odpoveďami sú na obrázku 6.9.



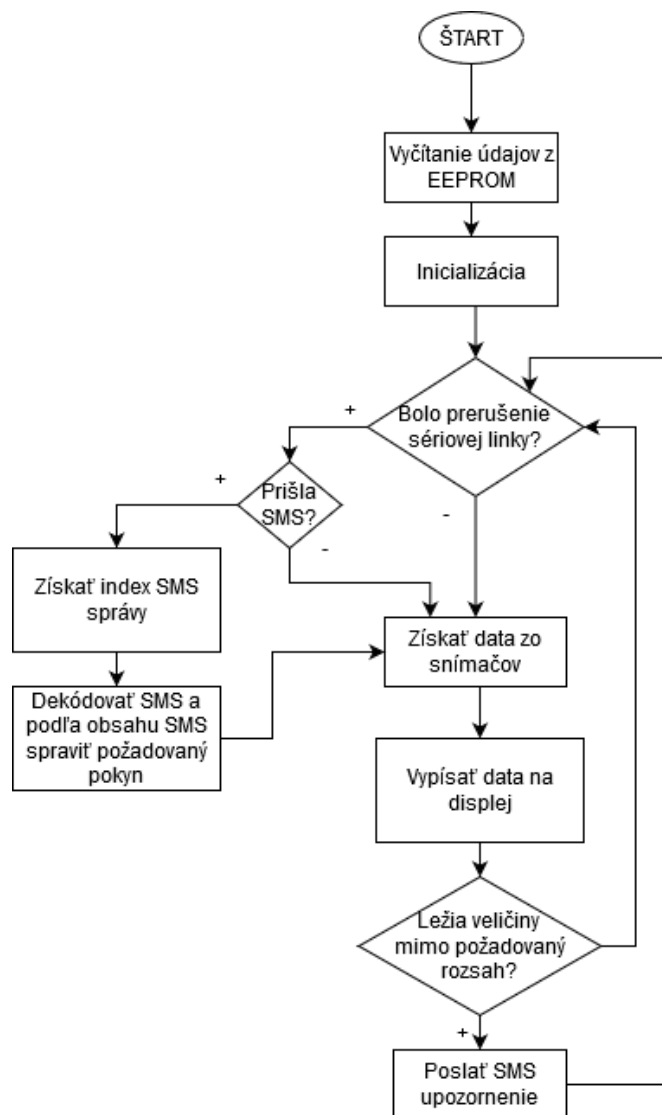
Obrázok 6:9 Ukážka vytvorených formátov SMS správ spolu s odpoveďami

6.6.2 Popis behu programu

Na začiatku programu sú z pamäte EEPROM vyčítané hodnoty dolných a horných limitov teploty a vlhkosti spolu s telefónnym číslom, kde budú posielané oznámenia pomocou SMS správ. V nasledujúcom kroku prebehne inicializácia, ktorá pozostáva z nastavenia vstupov, výstupov, nastavenia rozhrania UART pre komunikáciu s GSM modulom a nastavenia SPI rozhrania pre bezdrôtový ISM modul a inicializácia LCD displeja. Pomocou AT príkazov je nastavený GSM modul, ktorý je uvedený do textového módu, režim ukladania SMS správ je zvolený pre ukladanie správ do inboxu, kde je možné správu prečítať prostredníctvom indexu správy a pre jednoduchý prístup sú všetky uložené predošlé SMS správy zmazané.

Program potom zisťuje, či nedošlo k prerušeniu od sériovej linky, čo signalizuje prijatie nového bajtu. Buffer sa plní v obsluhu prerušenia od sériovej linky a k tomu sa pričítava index prijatého znaku, s ktorým sa ďalej pracuje ako s aktuálnou veľkosťou buffra, nie je nutné tak nulovať celý buffer. V prípade, že buffer dosiahol maximálnu veľkosť, vynuluje sa index veľkosti buffra. Na rovnakom princípe pracuje aj funkcia nulovania buffra. Obe premenné používané v obsluhu prerušenia (buffer aj index) sú označené kľúčovým slovom volatile, ktoré bráni kompilátoru k optimalizácii použitia. Počas behu programu sa ďalej k oboom premenným pristupuje atomicky, čo znamená, že pred použitím sa vypne povolenie globálnych prerušení a po použití, teda čítaní alebo zápise sa opäť prerušenia povolia.

Pomocou buffra sa tak ďalej skúma, či je prerušenie vyvolané prijatou SMS správou. V prípade, že je prerušenie spôsobené novou prijatou SMS správou, zistí sa index SMS správy uloženej v inboxe a v ďalšom kroku sa správa dekoduje. V prípade identifikácie, že sa jedná o prijatú SMS správu, je sledovaný reťazec „SM“,x“, kde x zodpovedá indexu SMS správy uloženej v pamäti. V prípade, že sa zistí, že SMS správa obsahuje jeden zo známych pokynov popísaných v predošlej podkapitole, urobí požadovanú operáciu. Ďalej sa prejde k získavaniu nameraných dát zo snímačov prijatím rámca pomocou ISM bezdrôtového modulu a dáta sa vypíšu na displej. Rámec prijímania nameraných veličín je v tvare „_H0_T0_H1_T1_H2_T2_H3_T3_H4_T4“, aby pomocou funkcie sscanf bolo možné rovno vyčítať jednotlivé veličiny spolu so znamienkom. V prípade, že namerané hodnoty ležia mimo nastavený rozsah, pošle sa notifikačná SMS správa o nutnosti zásahu a opätovne sa zisťuje, či nedošlo k prerušeniu od sériovej linky. V prípade, že notifikácia už bola poslaná, pri poslaní ďalšej notifikácie sa čaká na opätovné zapnutie notifikácii pomocou SMS správy. Vývojový diagram zobrazovacej jednotky je možné vidieť na obrázku 6.10.

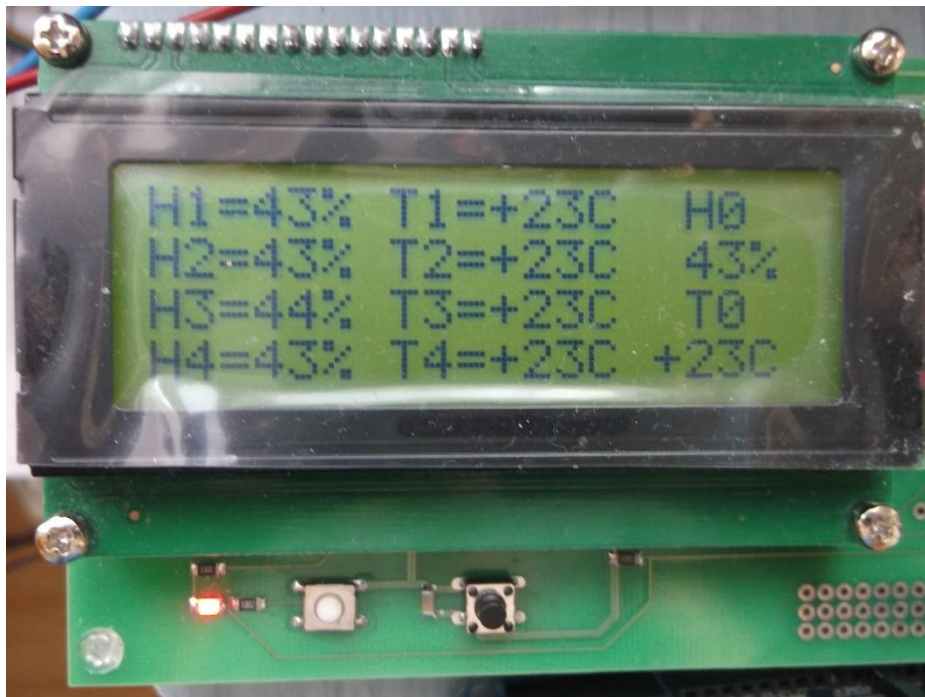


Obrázok 6:10 Vývojový diagram zobrazovacej jednotky

6.6.3 Spôsob zobrazenia dát na LCD displeji

Zariadenie je nastavené pre monitorovanie 4 úľov a jeden snímač je určený na snímanie teploty a vlhkosti okolia. Možný rozsah znakov na LCD displeji je limitovaný 80 znakmi (použitý displej 4x20). Pri práci s knižnicou bolo nutné nastaviť parametre displeja ako počet riadkov, počet znakov na riadok a DDRAM adresy prvého znaku na každom riadku, tieto údaje boli zobrazené z katalógu displeja. Základnými použitými funkciami z knižnice bola inicializácia displeja (`lcd_init`), vynulovanie obsahu displeja (`lcd_clrscr`), zvolenie pozície vypisovania znakov (`lcd_gotoxy`) a poslanie dát na zobrazenie (`lcd_puts`). Inicializácia displeja zahŕňa nastavenie vstupov, výstupov, nastavenie 4-bitového režimu a vynulovanie displeja. Ukážka zobrazenia nameraných hodnôt na displeji je na obrázku 6.11. Vzhľadom k tomu, že hodnota relatívnej vlhkosti môže nadobúdať iba kladné hodnoty, je zobrazená bez znamienka, teplota spolu so znamienkom. Hodnoty nameraných veličín v jednotlivých úľoch sú zobrazené pod

sebou spolu s príslušným indexom a jednotkou. Na pravej strane LCD displeja je zobrazená relatívna vlhkosť a teplota okolia s použitým indexom 0.



Obrázok 6:11 Ukážka zobrazenia nameraných hodnôt na LCD displeji

6.7 Testovanie funkčnosti prijímania a odosielania SMS správ

Pri testovaní funkčnosti SMS správ boli poslané SMS správy všetkých možných známych formátov a sledované odozvy prostredníctvom terminálu a spätných SMS správ. Správy boli posielané opakovane za sebou, aby bolo odsledované, či zvýšeným množstvom SMS správ nedochádza k zníženej funkčnosti, napríklad v prípade nefunkčnosti mazania prečítaných SMS správ. Na záver bola poslaná SMS správa do zariadenia v neznámom formáte, kde bolo sledované, či skutočne nedôjde k žiadnej zmene nastavení. Pre jednotlivé nastavenia bola overená správna funkčnosť zápisu a čítania do pamäte EEPROM vypnutím a opätovným zapnutím napájacieho napätia a sledovaním nastavenej hodnoty. Ukážku funkčnosti demonštruje výstup z terminálu v prípade poslania SMS správy vo formáte „INFO“, kde došlo k správne spätnému odoslaniu nameraných dát, je možné vidieť na obrázku 6.12.

```
21:36:46.483 -> +CMTI: "SM",1
21:36:46.868 -> AT+CMGR=1
21:36:46.937 -> +CMGR: "REC UNREAD","+421944036121","", "20/04/30,21:36:46+08"
21:36:47.007 -> INFO
21:36:47.007 ->
21:36:47.007 -> OK
21:36:47.078 -> AT+CMGS="+421911243160"H1=37% T1=23C  Amb:
21:36:47.529 -> H2=37% T2=23C H0=38%
21:36:47.565 -> H3=39% T3=23C T0=23C
21:36:47.565 -> H4=36% T4=24C
21:36:47.599 -> > □
21:36:52.430 -> +CMGS: 222
21:36:52.430 ->
21:36:52.430 -> OK
21:36:52.777 -> AT+CMGD=1,4
21:36:52.847 -> OK
```

Obrázok 6:12 Ukážka výstupu terminálu v prípade prijatia SMS správy v tvare „INFO“

7 ZÁVER

Cieľom práce bolo navrhnuť a vyrobiť zariadenie, ktoré bude monitorovať teplotu a vlhkosť a umožní GSM komunikáciu, s tým, že zariadenie sa bude skladať z dvoch častí, prvej, ktorá slúži na zber dát a druhej, ktorá slúži ako zobrazovacia jednotka, ktorá s časťou zberu dát má komunikovať bezdrôtovo pomocou ISM pásma.

V druhej kapitole sú objasnené základné pojmy a problémy, s ktorými sa môže včelár stretnúť, a práve v ktorých by mohlo zariadenie tohto typu pomôcť. Popísaný je aj význam veličín, ktoré môže byť výhodné sledovať, ku ktorým je pridaný pre prehľad aj možný priebeh v čase. V poslednej časti tejto kapitoly sú uvedené nájdené na trhu existujúce riešenia. Práve na základe existujúcich riešení je možné usúdiť, že nebolo nájdené predávané zariadenie, ktoré by ponúkalo v jednom celku monitorovanie viacerých včelích úľov. Rovnako sa pri týchto zariadeniach nevyskytla možnosť spínania, teda aj možnosti pridania kúrenia na včelích úľoch.

Nasledujúca kapitola sa venuje návrhu konceptu zariadenia a obvodovému riešeniu. Na základe blokovej schémy zariadenia je popísaný výber komponentov spolu s alternatívami, ktoré pripadali do úvahy. Ku jednotlivým vybraným komponentom je ukázaná a vysvetlená schéma zapojenia.

V štvrtej kapitole je popísaný návrh plošných spojov, tie sú celkovo 3, kde okrem zobrazovacej jednotky a jednotky pre zber dát je vzhľadom na puzdro navrhnutý plošný spoj aj pre snímač teploty a vlhkosti.

V ďalšej kapitole je ukázaný postup pri oživení zariadenia. Sú tu uvedené aj chyby vzniknuté pri návrhu schémy zapojenia. Celkovo sa jednalo o 2 chyby, jedna spôsobená nevhodne zvoleným tranzistorom na spínanie podsvietenia displeja a druhá zlým zapojením napäťového deliča pre komunikáciu s GSM modulom. Jednotlivé chyby sú znázornené a následne opravené spolu s uvedenou novou schémou zapojenia a vysvetlením.

Posledná kapitola sa venuje návrhu programového vybavenia a testovaniu zariadenia. Sú tu znázornené vývojové diagramy jednotlivých programov ako časti zberu dát, tak zobrazovacej jednotky. V časti testovania je ukázané vytvorenie pre účely monitorovania toku dát po sériovej linke s použitím prípravku na platforme Arduino, ktorým je ďalej demonštrovaná funkcia GSM komunikácie. Správny príjem dát z časti zberu dát zobrazovacou jednotkou demonštruje funkčnosť ako displeja zobrazovacej jednotky spolu s bezdrôtovým modulom, tak aj celej časti zberu dát spolu so snímačmi. Správnosť hodnôt nameranej teploty bola vzhľadom k nedostupnosti referenčného merača porovnávaná s bežnými teplomermi, ktoré obsahujú domáce spotrebiče ako hodiny, pričom bola testovaná aj zmena hodnoty teploty priložením teplejšieho a chladnejšieho predmetu. V prípade hodnôt vlhkosti podobne bolo iba porovnávané, či spĺňajú interval bežných hodnôt vlhkosti v uzavretých priestoroch. Správne spínanie výstupov jednotlivých kúrení bolo otestované pomocou pripojenia LED diód na

kontaktnom poli. GSM komunikácia bola otestovaná pre všetky prípady možných známych formátov SMS správ a aj pre neznámy formát. Otestovaná bola aj funkčnosť pri poslaní viacerých správ za sebou. Testovaním zariadenie úspešne prešlo a malo by tak byť plne funkčné.

Vytvorený program umožňuje momentálne monitorovanie 4 včelích úľov, je však možné a pomerne jednoduché ho prerobiť až na 8 úľov bez zmeny hardwaru. Cena vytvoreného zariadenia s použitím pre 8 včelích úľov je približne 5 600 Kč, v prípade použitia pre 4 úle sú náklady približne 4 800 Kč a v prípade 1 úľa 4 100 Kč. Najlacnejšie na trhu ponúkané riešenie, výrobok Beebot, z druhej kapitoly stojí približne 4 700 Kč, no obsahuje navyše aj zvukovú analýzu. Je tak možné povedať, že použitie navrhnutého riešenia získava na výhodnosti práve pri zvýšenom počte monitorovaných včelích úľov, keďže na trhu existujúce zariadenia monitorujú spravidla iba 1 včelí úľ.

Literatúra

[1] *Fenomenální včely*. Brázda, 2009. ISBN 9788020903792.

[2] *Včela medonosná* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z:
https://sk.wikipedia.org/wiki/V%C4%8Dela_medonosn%C3%A1

[3] *Prečo nevieme žiť bez včiel?* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z:
http://www.dukonline.sk/tmp/asset_cache/link/0000021381/8.%20predn%C3%A1%C5%A1ka.pdf

[4] GUSTIN, Yves. *Ilustrované včelařství: nepostradatelná rodinná příručka pro odvážné včelaře*. V Praze: Baobab, 2010. Kraj (Baobab: GplusG. ISBN 9788087060278.

[5] *Včelí úl' Langstroth* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z:
<https://ivcelarskepotreby.sk/vceli-ul-langstroth>

[6] *Včelí úl* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%8Del%C3%AD_%C3%BA1

[7] *Parazity v úľoch* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:
<https://www.quark.sk/parazity-v-uloch/>

[8] *Colony collapse disorder* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Colony_collapse_disorder

[9] *Agriculture Update: Beeologics May Help Save Honey Bees from Colony Collapse Disorder* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:
<https://www.21stcentech.com/agriculture-update-beeologics-save-honey-bees-colony-collapse-disorder/>

[10] *Beebot* [online]. [cit. 2019-09-29]. Dostupné z:
<https://pollenity.com/product/beebot/>

[11] *Buzzbox* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z:
<https://beebuilt.com/products/buzzbox>

[12] *BuzzBox mini* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:
<https://www.osbeehives.com/>

[13] *HM-5 Smart Hive Monitor* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z:
<https://solutionbee.com/Documents/B-ware%E2%84%A2%20HM-5%20Datasheet.pdf>

- [14] *Arnia remote hive monitoring* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.arnia.co.uk/>
- [15] *Eyesonhives Scout Bee* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.keltronixinc.com/product/eyesonhives-scout/>
- [16] *Brood temperature* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <http://support.arnia.co.uk/knowledgebase/brood-temperature-2/>
- [17] *Humidity in the Hive* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.arnia.co.uk/humidity-in-the-hive/>
- [18] *Remote Beehive Monitoring Using Acoustic Signals* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Iftekhhar_Ahmad/publication/275517604_Remote_Beehive_Monitoring_using_Acoustic_Signals/links/5580d89d08ae607ddc322c81.pdf
- [19] *Frequency Analysis of Honey Bee Buzz for Automatic Recognition of Health Status: A Preliminary Study* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://www.rcs.cic.ipn.mx/2017_142/Frequency%20Analysis%20of%20Honey%20Bee%20Buzz%20for%20Automatic%20Recognition%20of%20Health%20Status.pdf
- [20] *Weight my Bees: Measuring Beehive Weight to Monitor Colony Health* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://forums.ni.com/t5/Showcasing-Student-Innovation/Weight-my-Bees-Measuring-Beehive-Weight-to-Monitor-Colony-Health/tap/3787134?profile.language=en>
- [21] *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [22] *BME280 Combined humidity and pressure sensor* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.mouser.sk/datasheet/2/783/BST-BME280-DS002-1509607.pdf>
- [23] *Adafruit BME280 I2C or SPI Temperature Humidity Pressure Sensor* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://rlx.sk/sk/temperature-humidity-weather-meters/4465-adafruit-bme280-i2c-or-spi-temperature-humidity-pressure-sensor-adafruit-2652.html>
- [24] *Honeywell HumidIcon™ Digital Humidity/Temperature Sensors HIH7000 Series* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://eu.mouser.com/datasheet/2/187/honeywell-sensing-humidicon-hih7000-series-product-1140774.pdf>
- [25] *RFM95/96/97/98(W) - Low Power Long Range Transceiver Module V1.0* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://cdn.sos.sk/productdata/10/63/9962461c/rfm95w-868-s2-1.pdf>

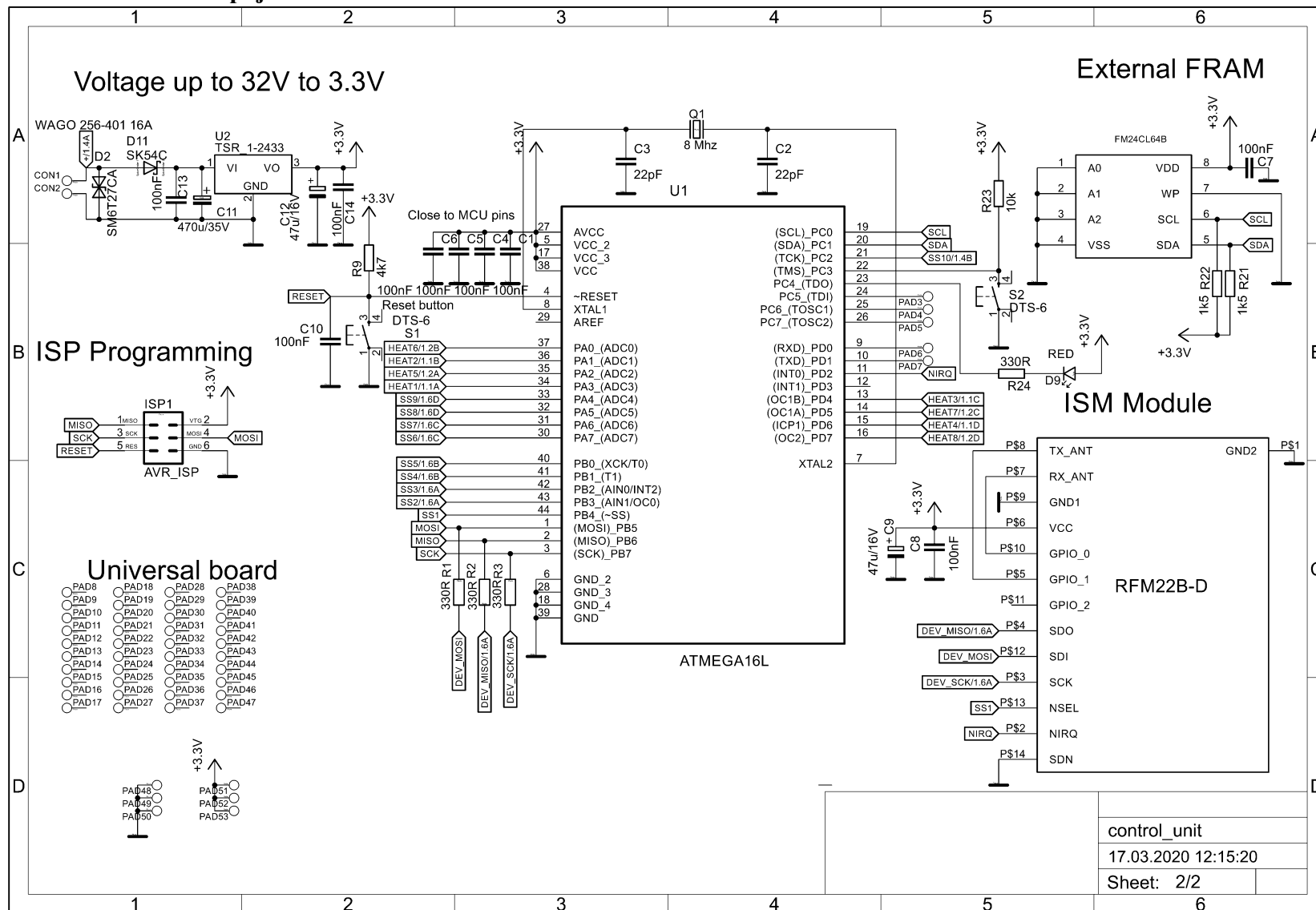
- [26] *RFM22B/23B ISM TRANSCEIVER MODULE* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22B.pdf>
- [27] *Non-Isolated DC/DC Converter(POL) TSR 1 Series, 1A* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.tracopower.com/products/tsr1.pdf>
- [28] *Paměť FRAM* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pam%C4%9B%C5%A5_FRAM
- [29] *64-Kbit (8 K × 8) Serial (I2C) F-RAM* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/b5dc499abd8d4cc28b597ad4da24249a/FM24CL64B-G.pdf>
- [30] *IRLZ34N* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlz34n.pdf>
- [31] *DC/DC Converter TSR 2 Series, 2A* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://cdn.sos.sk/productdata/af/23/9c83e638/tsr2-0512.pdf>
- [32] *LM3940 1-A Low-Dropout Regulator for 5-V to 3.3-V Conversion* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3940.pdf>
- [33] *MIC2915X/30X/50X/75X* [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MIC2915x-30x-50x-75x-High-Current-Low-Dropout-Regulators-DS20005685B.pdf>
- [34] *M95FA-TEA-03-STDN / QUECTEL* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.sos.sk/products/quectel/m95fa-tea-03-stdn-286038>
- [35] *How To Play with SIM800L: Part 1* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.electroschematics.com/introducingsim800l/>
- [36] *SIM800L_Hardware_Design_V1.00* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf
- [37] *8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash Atmega16 Atmega16L* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc2466.pdf>
- [38] *SIM800 Series_AT Command Manual_V1.09* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.elecrow.com/wiki/images/2/20/SIM800_Series_AT_Command_Manual_V1.09.pdf
- [39] *Běžné AT příkazy* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: http://papouch.com/data/user-content/old_eshop/files/GSM-BGS5-T2M_1/bgs5_atc_v1-01.pdf

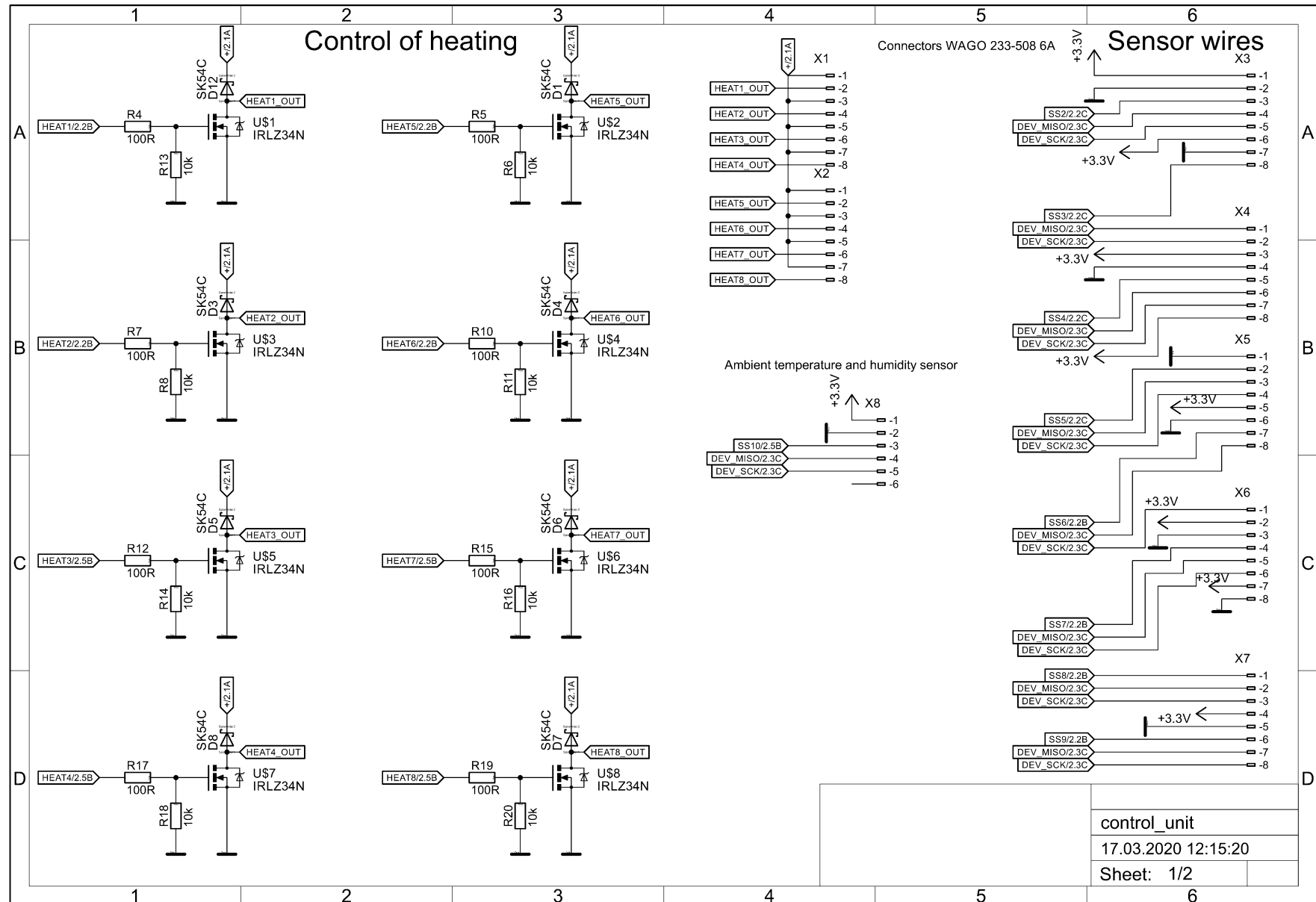
- [40] *EA DOGM204-A* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://cdn.sos.sk/productdata/be/ce/0302453d/ea-dogm204w-a.pdf>
- [41] *EA DOGM204B-A / ELECTRONIC ASSEMBLY* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.sos.sk/products/electronic-assembly/ea-dogm204b-a-153681>
- [42] *LCD alfanumerický displej WINSTAR WH2004A-YGH-CT* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.gme.sk/lcd-alfanumericky-displej-winstar-wh2004a-ygh-ct>
- [43] *74HC125* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/2005165.pdf?_ga=2.263633036.1072854357.1588355094-1726910736.1586979199&_gac=1.23467080.1588355173.Cj0KCQjwka_1BRCPARIsAMlUmEpCK2VSo2U3TjlnNfBNXILq-ckDJeV3lKnUR5uaiY0Cf1Q_DIY_5MEaAsNQEALw_wcB
- [44] *Obousměrný konvertor úrovní 5V / 3V , 8 kanálů* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: https://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product_id=174
- [45] *Logic_Level_Bidirectional* [online]. [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: https://www.generationrobots.com/media/Sparkfun_Logic_Level_Bidirectional-schematics.pdf
- [46] *Introduction to I²C and SPI protocols* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.byteparadigm.com/applications/introduction-to-i2c-and-spi-protocols/?/article/AA-00255/22/Introduction-to-SPI-and-IC-protocols.html>
- [47] *SPI Communication with the Honeywell HumidIcon™ Digital Humidity/Temperature Sensors* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.honeywellsportal.com/spi-comms-with-digital-humidity-temp-sensors-tn-009071-1-en-final-07jun12.pdf>
- [48] *Universal asynchronous receiver-transmitter* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter

Zoznam príloh

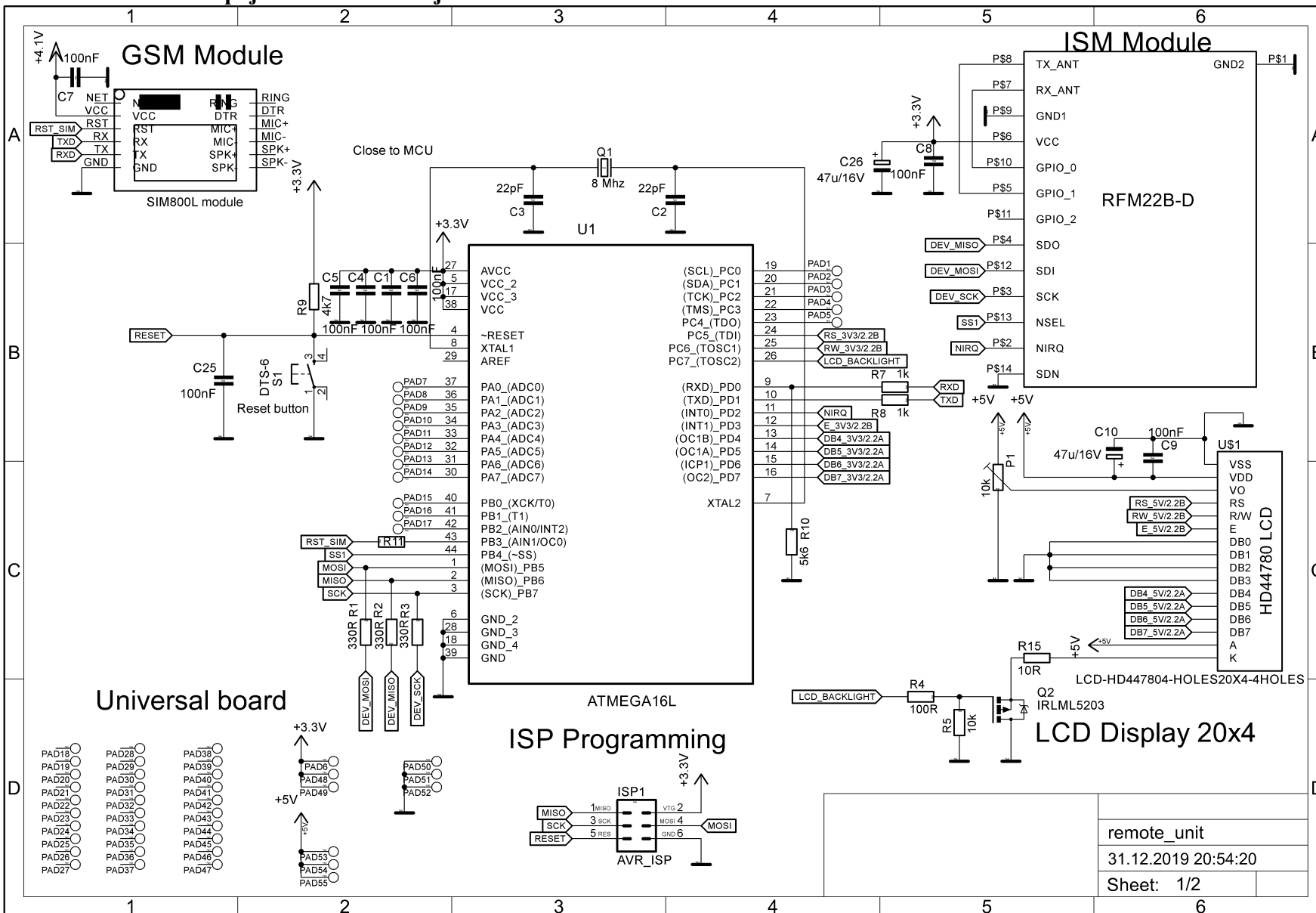
- Príloha 1. Schéma zapojenia časti zberu dát
- Príloha 2. Schéma zapojenia zobrazovacej časti
- Príloha 3. Schéma zapojenia snímača
- Príloha 4. Návrh plošného spoja časti zberu dát
- Príloha 5. Návrh plošného spoja zobrazovacej časti
- Príloha 6. Návrh plošného spoja pre snímač
- Príloha 7. Fotografie výrobku
- Príloha 8. Zoznam príloh na CD

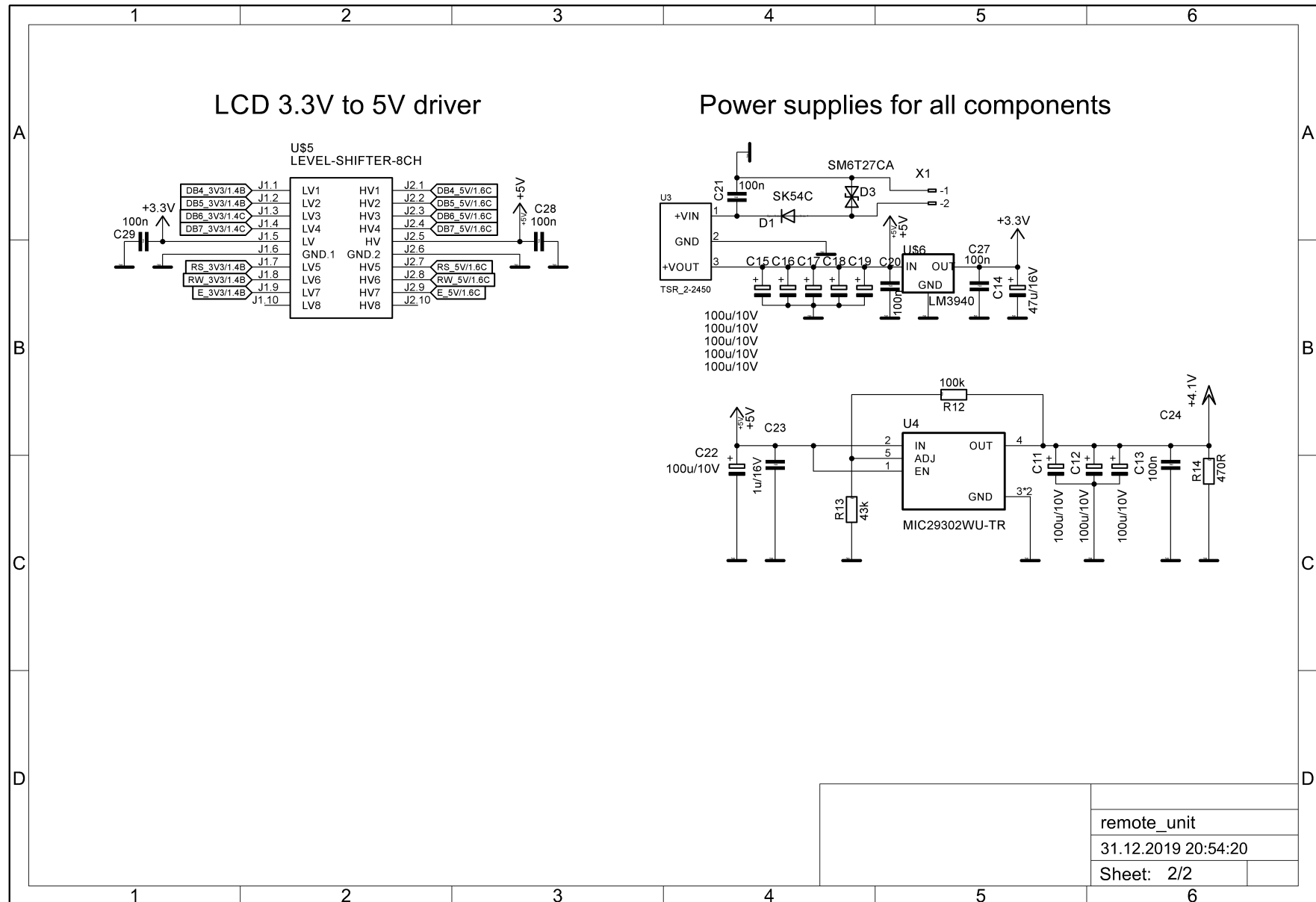
Príloha 1 Schéma zapojenia časti zberu dát



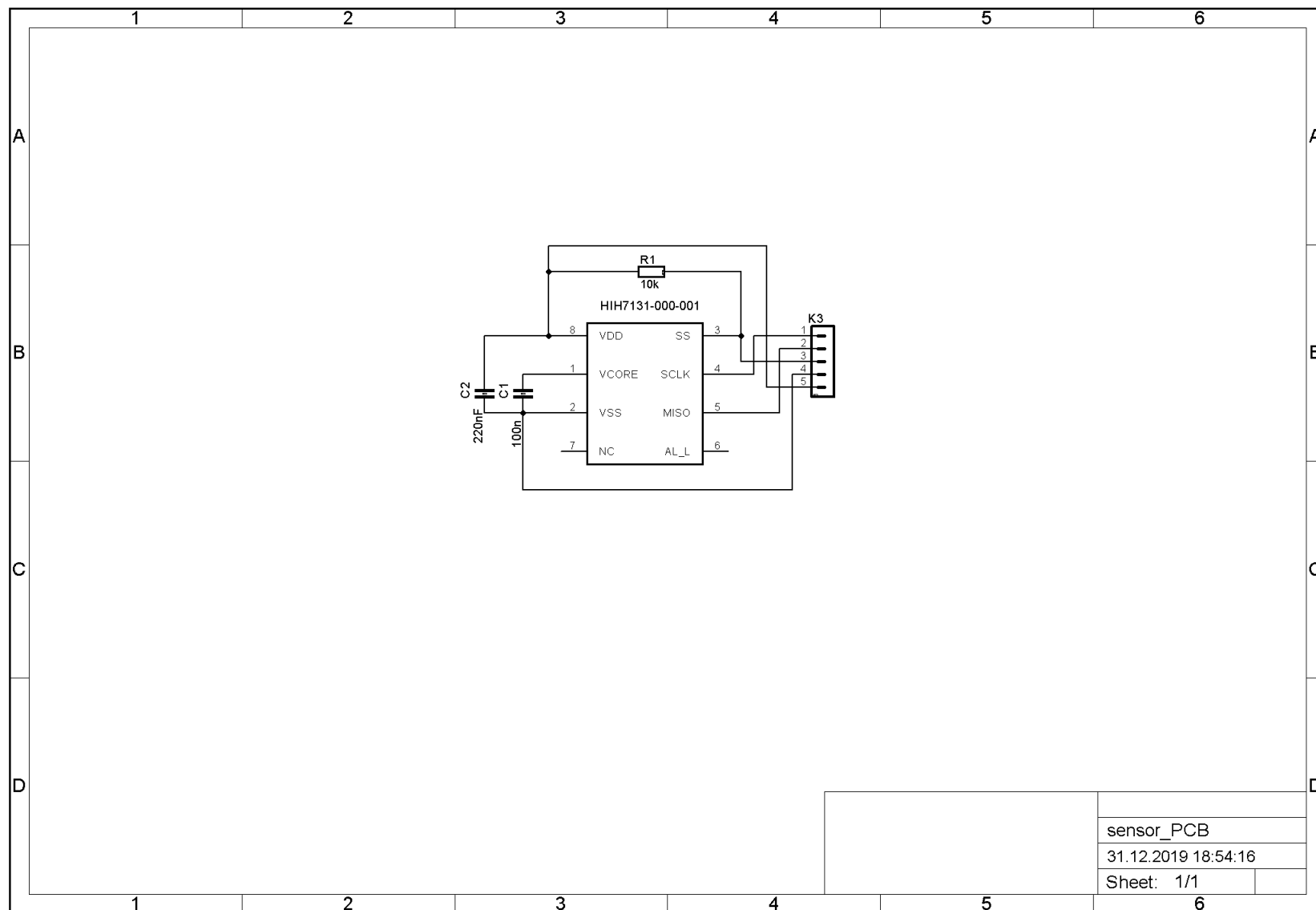


Príloha 2. Schéma zapojenia zobrazovacej časti



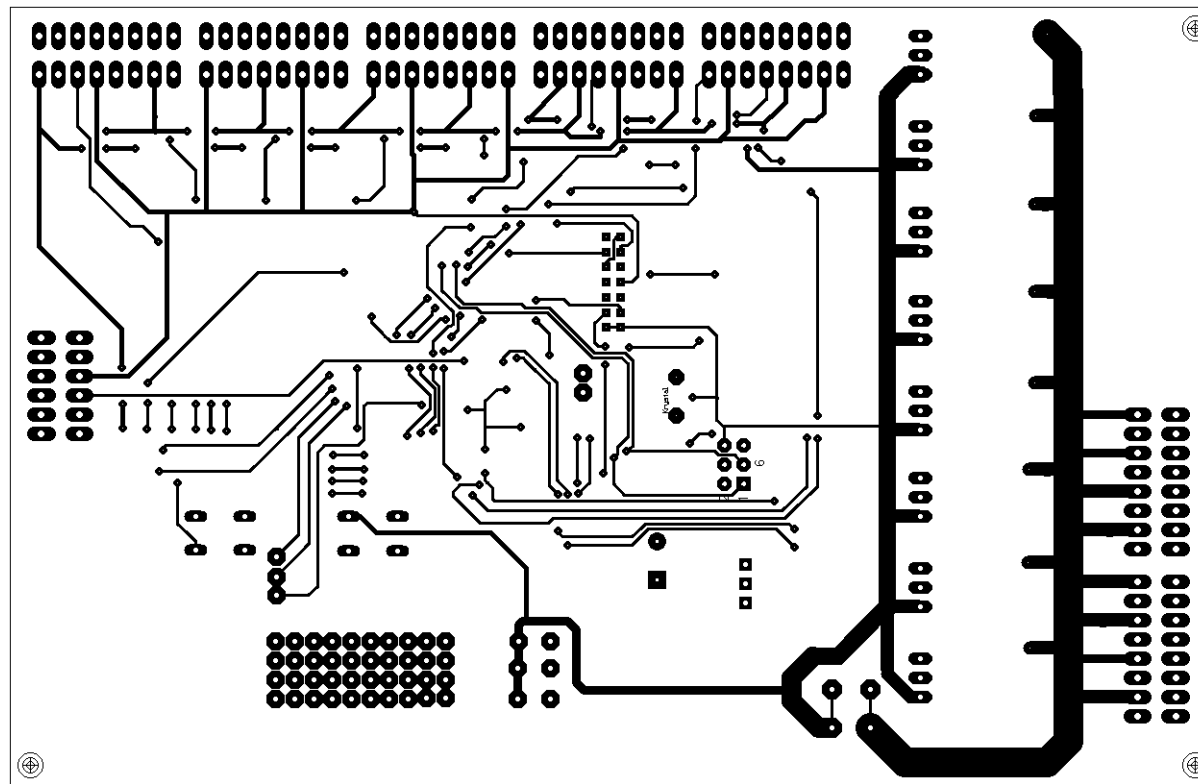


Príloha 3. Schéma zapojenia snímača

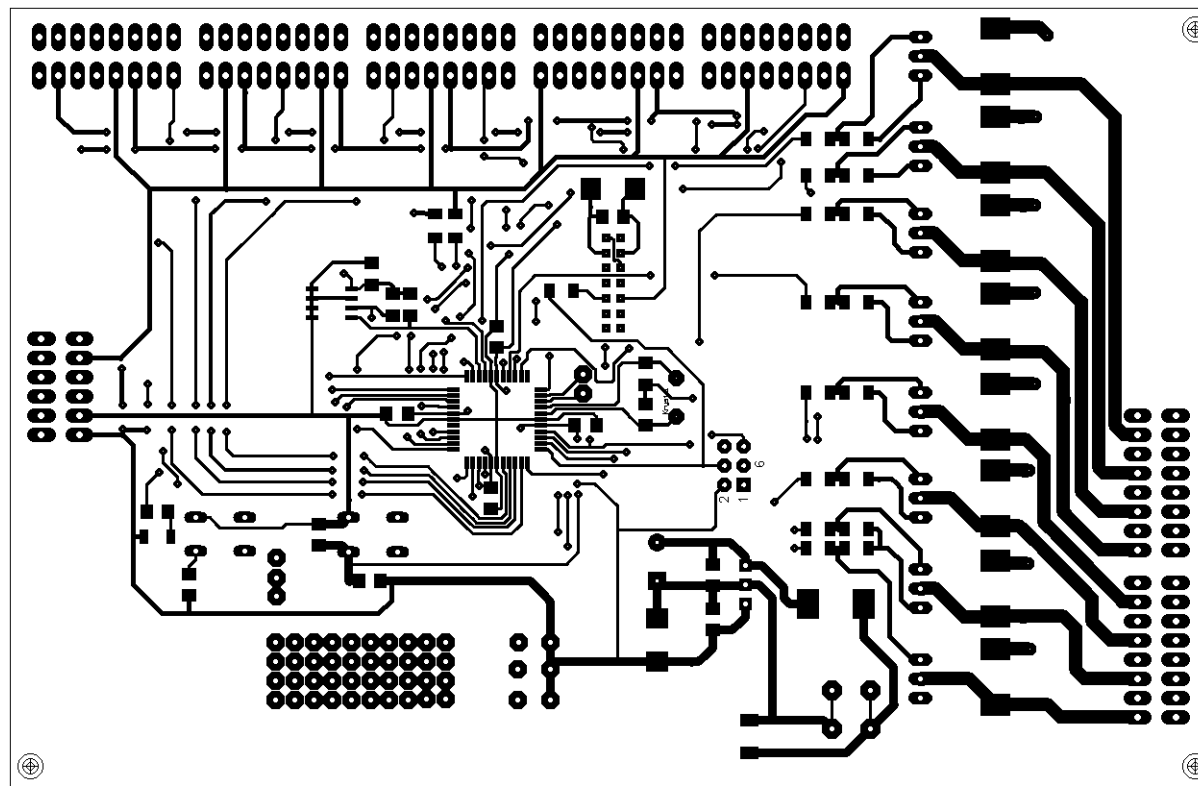


Príloha 4. Návrh plošného spoja časti zberu dát

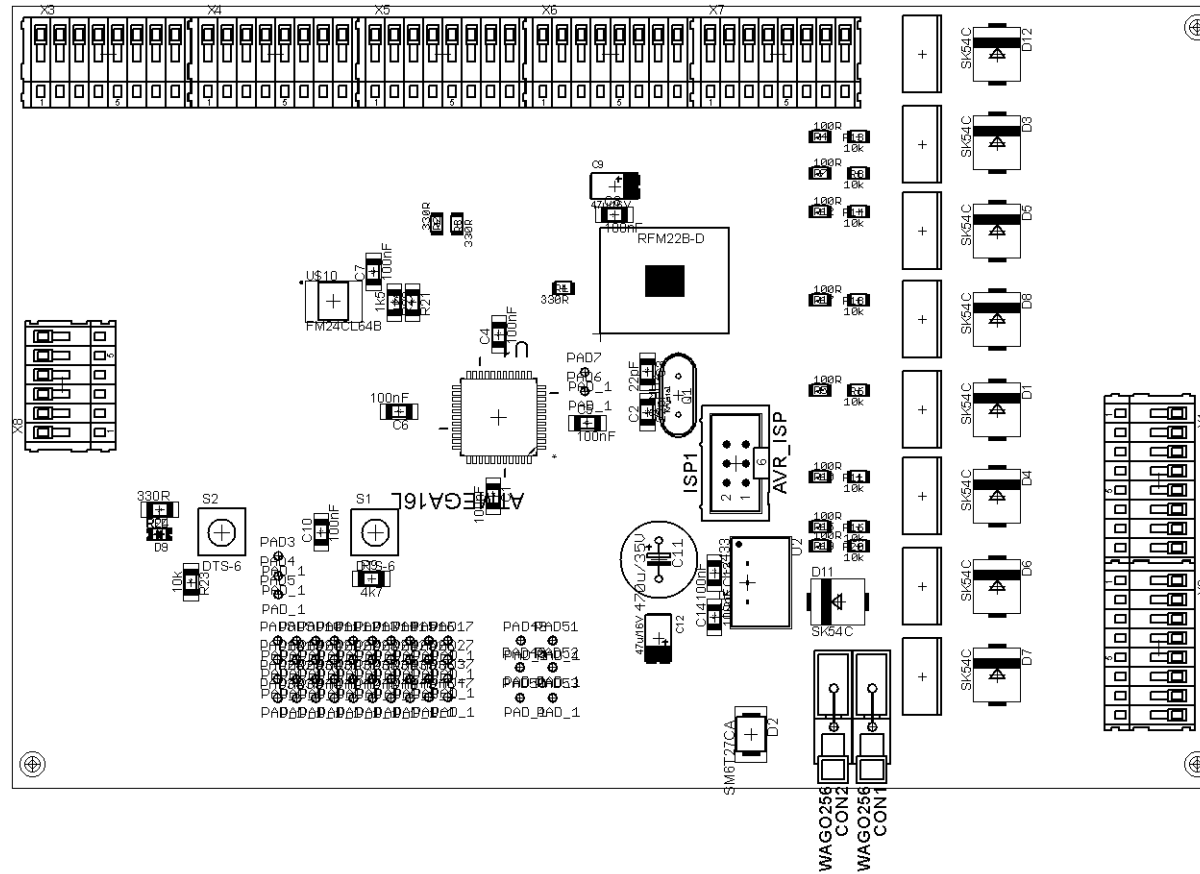
Spodná časť (Bottom)



Vrchná časť (Top)

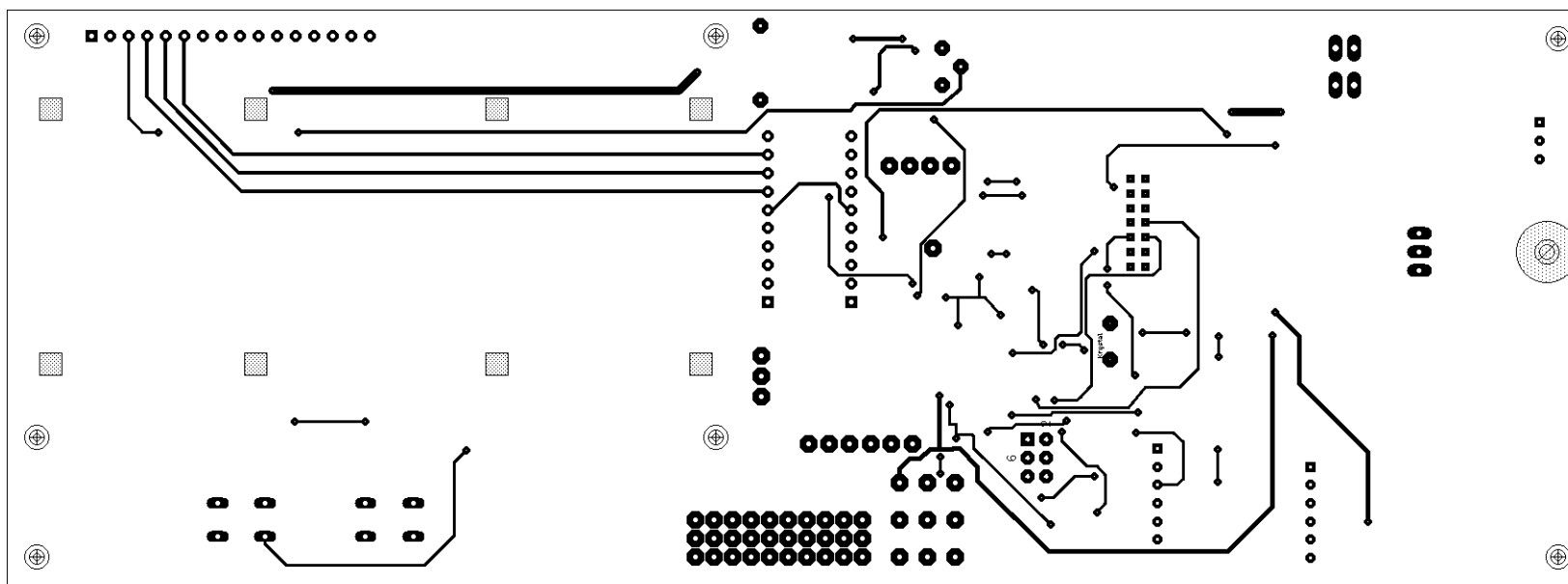


Osadzovací plán (súčiastky na vrchnej strane plošného spoja)

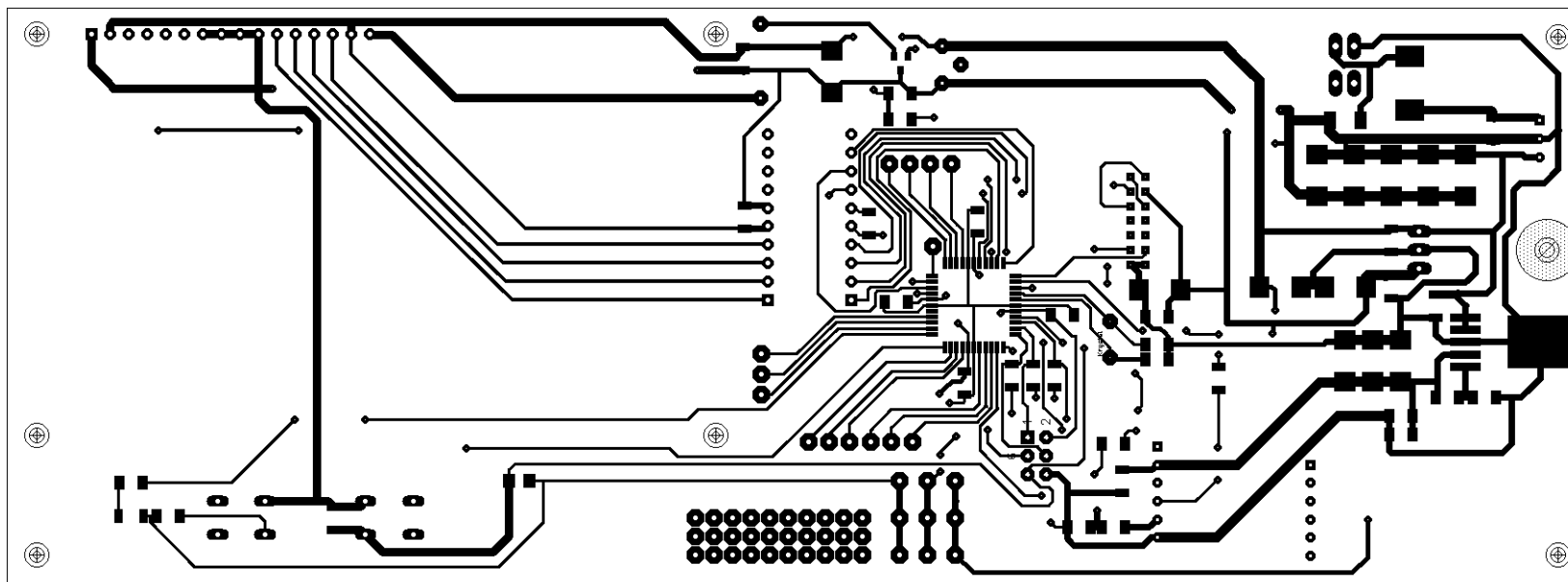


Príloha 5. Návrh plošného spoja zobrazovacej časti

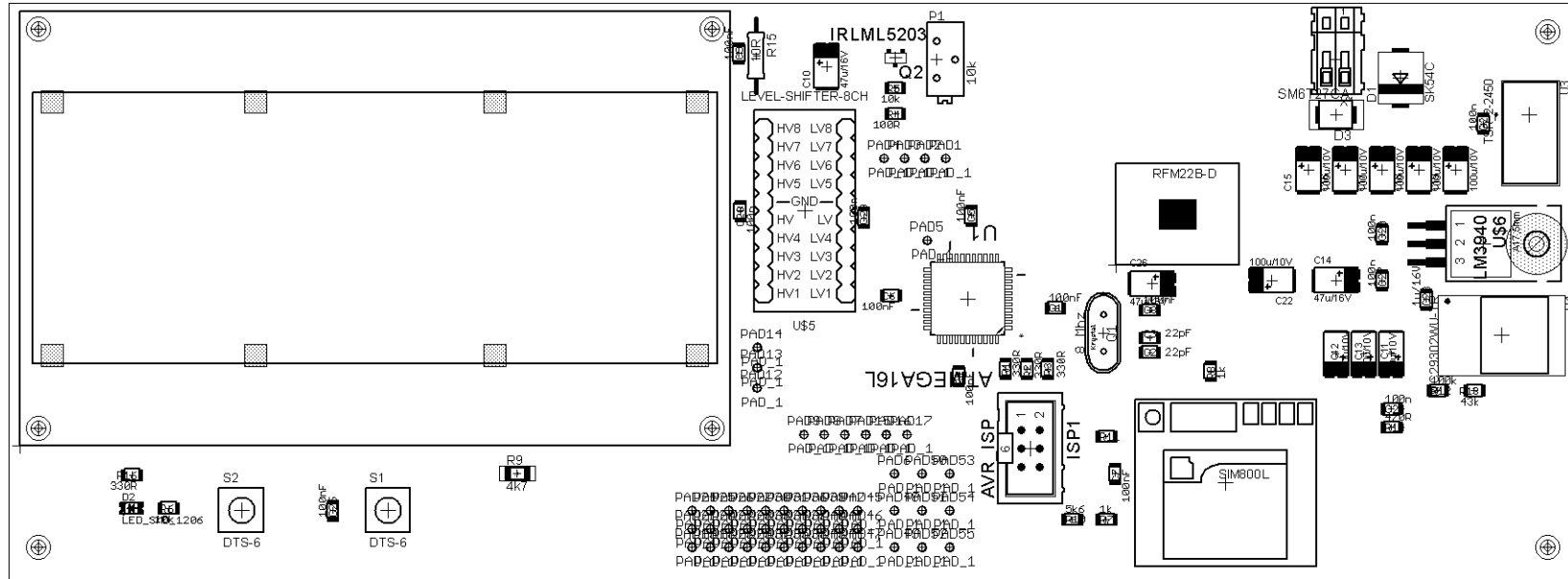
Spodná časť (Bottom)



Vrchná časť (Top)

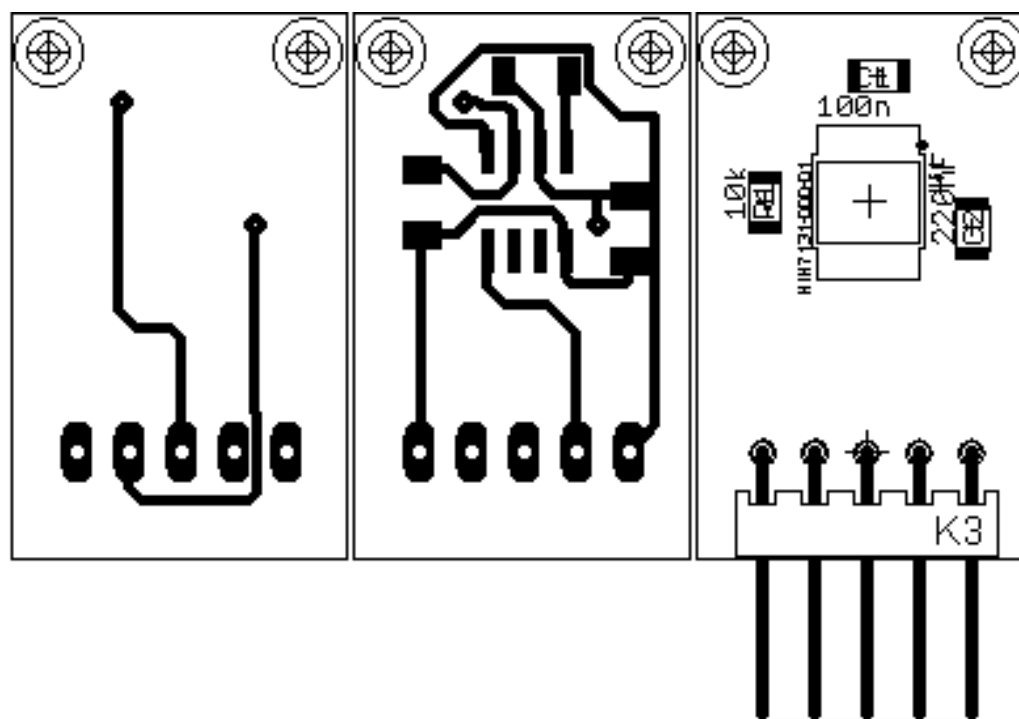


Osadzovací plán (súčiastky na vrchnej strane plošného spoja)



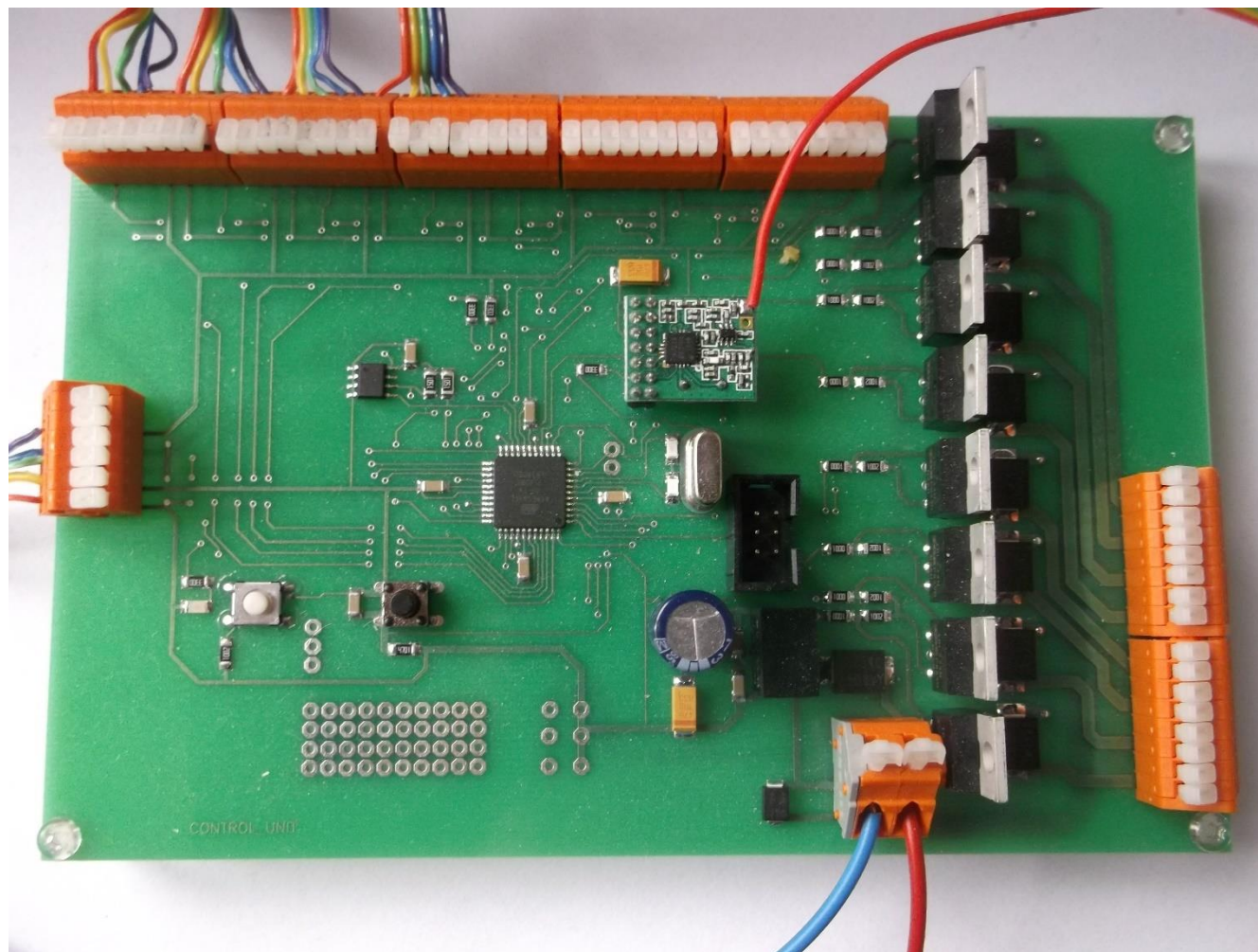
Príloha 6. Návrh plošného spoja pre snímač

Postupne z ľavej strany spodná časť plošného spoja (Bottom), vrchná strana plošného spoja (Top) a osadzovací plán (súčiastky na vrchnej strane)

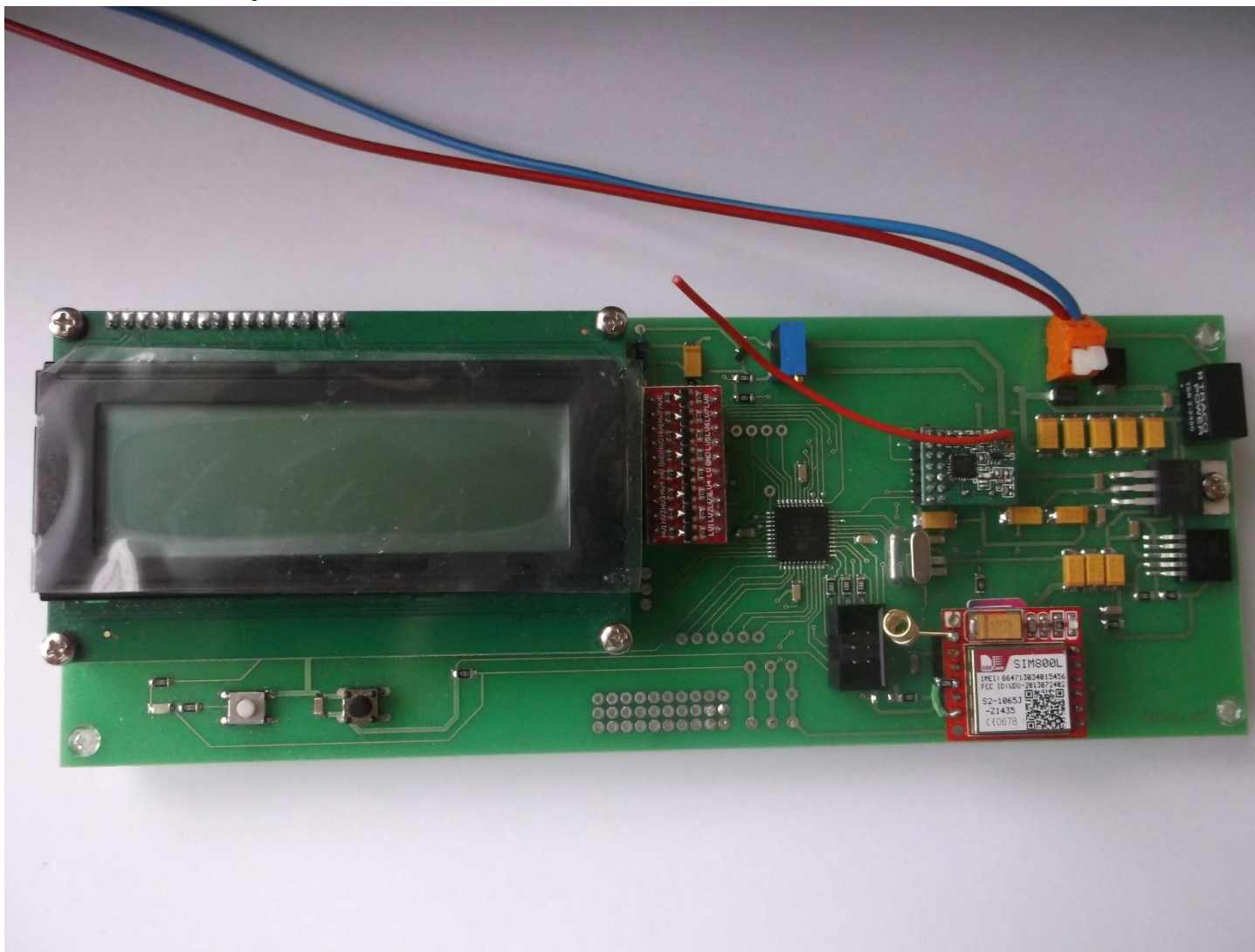


Príloha 7. Fotografie výrobku

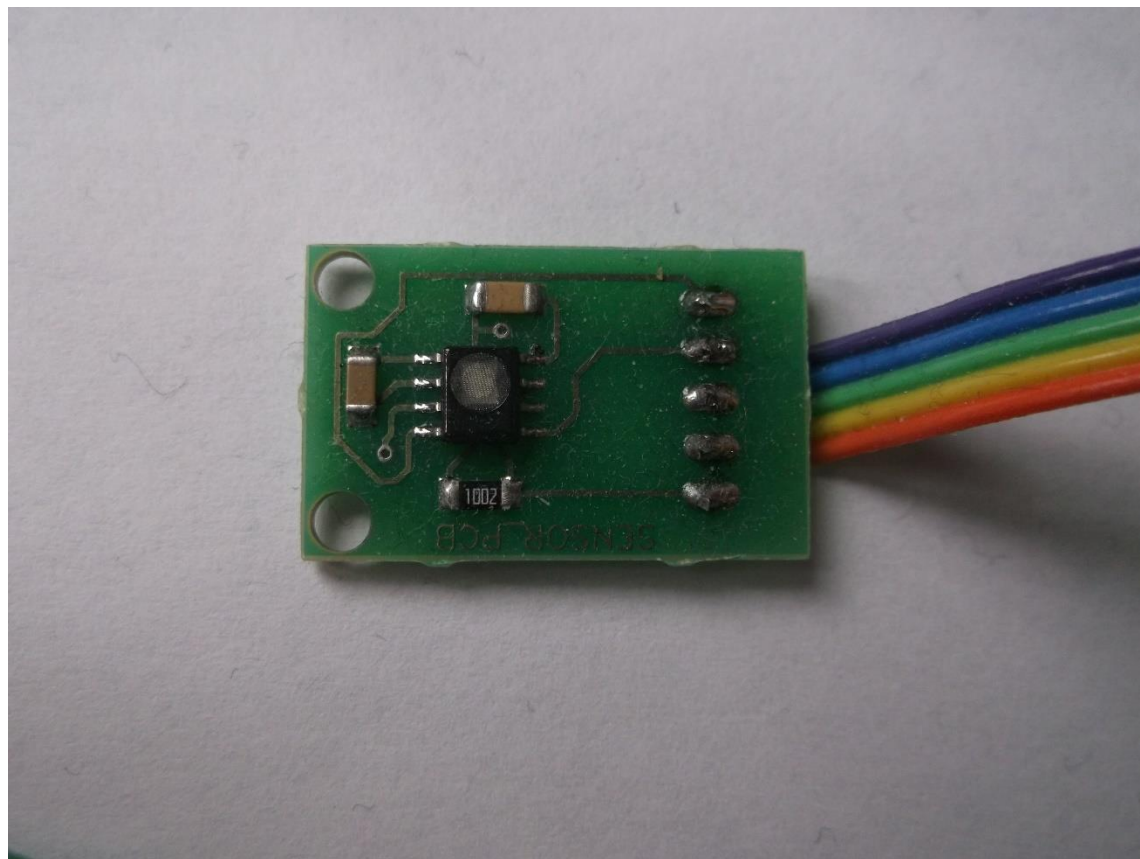
Fotografia výrobku – časť zberu dát



Fotografia výrobku – zobrazovacia jednotka



Fotografia výrobku – snímač



Príloha 8. Zoznam príloh na CD

- Text záverečnej práce
- Schémy zapojenia a návrhy plošných spojov
- Programové vybavenie
- Fotodokumentácia